



Forslag til nye energikrav til eksisterende bygningers klimaskærm

Tommerup, Henrik M.; Svendsen, Svend

Publication date:
2008

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Tommerup, H. M., & Svendsen, S. (2008). *Forslag til nye energikrav til eksisterende bygningers klimaskærm*. Danmarks Tekniske Universitet (DTU). DTU Byg Sagsrapport No. 08-05 (DK)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Forslag til nye energikrav til eksisterende bygningers klimaskærm



Institut for Byggeri og Anlæg

Rapport 2008

Skrevet af Henrik Tommerup og Svend Svendsen
DTU Byg Sagsrapport SR 08-05 (DK)
ISSN 1601-8605
11 2008

Forord

I henhold til den energipolitiske aftale, der blev indgået den 21. februar 2008 med en bred kreds af Folketingets parter skal regeringen udarbejde en strategi for reduktion af energiforbruget i bygninger, herunder skærpede energikrav i bygningsreglementet.

På denne baggrund har DTU Byg for Erhvervs- og Byggestyrelsen udarbejdet vurderinger og analyser, der kan danne grundlag for opstilling af nye skærpede energimæssige krav til eksisterende bygningers klimaskærmskonstruktioner. Resultaterne af dette arbejde er at finde i denne rapport.

Rapporten består af fire hovedkapitler med følgende indhold:

- Vurdering af klimaskærmskomponentkrav til tilbygninger og renoveringer
- Analyser af energibesparelser og økonomi for klimaskærmsrenoveringstiltag - og andre udvalgte tiltag
- Vurdering af muligheder for fleksible energikrav til større renoveringer
- Forslag til skærpede energikrav til klimaskærmen i bygningsreglementet

Sideløbende har DTU Byg for Energistyrelsen foretaget analyser af forskellige forslag til energimæssige krav til vinduer i bygningsreglementet og energimærkningsordningen. Disse analyser er rapporteret separat i DTU Byg Rapport SR 08-06.

Danmarks Tekniske Universitet, Kongens Lyngby, December 2008

Indholdsfortegnelse

Forord.....	1
Indholdsfortegnelse	2
1 Klimaskærmskomponentkrav.....	3
1.1 Parcelhus.....	4
1.2 Administrationsbygning.....	7
2 Energibesparelser og økonomi for klimaskærms-renoveringstiltag	9
2.1 Metode	9
2.2 Typiske klimaskærmskonstruktioner i eksisterende bygninger	17
2.3 Energibesparende klimaskærmsrenoveringstiltag	28
2.4 Energisparepriser for klimaskærmstiltag	37
2.5 Energisparepriser for udvalgte andre renoveringstiltag	49
2.6 Klimaskærmstiltag vs. andre tiltag	56
3 Vurdering af fleksible energikrav til større renoveringer.....	57
3.1 Metode	57
3.2 Beskrivelse af eksempelhus	57
3.3 Klimaskærmsrenoveringstiltag	59
3.4 Opfyldelse af komponentkrav	61
3.5 Økonomisk optimale valg	61
4 Forslag til skærpede energikrav til klimaskærmen	65
4.1 Forslag til energikrav til klimaskærmen i BR 2010, BR 2015 og BR 2020.....	65
4.2 Forslag til supplerende energikrav	69
5 Referencer	71
Bilag 1: Prisberegninger	72
Bilag 2: Resultater - energibesparelser og økonomi	80

1 Klimaskærmskomponentkrav

Der er foretaget vurdering af passende krav til tilbygninger og renoveringer gennem krav til klimaskærmskomponenter i 2010, 2015 og 2020 via ”oversættelse” af kravene i de skitserede energirammer for nybyggeri for 2010, 2015 og 2020.

”Oversættelsen” af energirammekravene undersøges ved at foretage analyser af sammenhængen mellem transmissionstab og energibehov for et typisk parcelhus og administrationsbygning. Det undersøges således hvilke reduktioner i transmissionstab fra forskellige klimaskærmskomponenter samt oplagte tiltag vedr. varme- og ventilationsanlæg og energiforsyning, der svarer til de skitserede skærpede energirammer for 2010, 2015 og 2020. Sammenhængen mellem transmissionstab og energibehov beregnes med bygningssimuleringsprogrammet Be06 for eksempel parcelhuset og administrationsbygningen fra SBI-anvisning 213: Bygningers energibehov [1].

Bygningsreglementets lavenergiklasser 2 og 1, svarer til 25 % og 50 % mindre energibehov end minimumskravet i BR 2008, og de kan forventes at blive obligatoriske fra hhv. 2010 og 2015. Det forventes at der introduceres en ny lavenergiklasse i bygningsreglementet svarende til 75 % mindre energibehov sammenlignet med BR 2008, som er regeringens målsætning for nye bygninger i 2020, og som cirka svarer til passivhuse. I denne rapport betegnes dette niveau ”lavenergiklasse 0”. De fremtidige planlagte skærpelser i 2010, 2015 og 2020 svarer altså til 25 % hver gang med fast reference (BR 2008), og resulterer i en samlet reduktion i energibehovet på 75 %, se Tabel 1.

Tabel 1. Energirammer i kWh/m² pr. år., jf. bygningsreglementet BR 2008 [2] - A er det opvarmede etageareal i m².

	Energiramme	Normgivende	Energibesparelse
Boliger	70 + 2200/A	BR 2008	-
Lavenergiklasse 2	50 + 1600/A	BR 2010	≈ 25 %
Lavenergiklasse 1	35 + 1100/A	BR 2015	50 %
Lavenergiklasse 0	17,5 + 550/A	BR 2020	75 %
Andre bygninger	95 + 2200/A	BR 2008	-
Lavenergiklasse 2	70 + 1600/A	BR 2010	≈ 25 %
Lavenergiklasse 1	50 1100/A	BR 2015	50 %
Lavenergiklasse 0	23,8 + 550/A	BR 2020	75 %

Der undersøges forskellige U-værdi niveauer med udgangspunkt i det nuværende bygningsreglements krav til varmeisolering af bygningsdele i forbindelse med ændret anvendelse og tilbygninger. Det er valgt, at antage løbende stramninger af klimaskærmens varmeisolering på ca. 25 % (løbende reference), som vil resultere i en samlet reduktion i transmissionstab på ca. 60 % i 2020, altså lidt mindre end reduktionen på 75 % i energibehovet. Derved forventes det at der vil være sammenhæng mellem reduktion i transmissionstab og reduktion i energibehov.

Baggrunden for at antage denne sammenhæng er, at en reduktion i U-værdierne vil reducere rumvarmebehovet, som er en stor del af energibehovet. Da rumvarmebehovet bestemmes i

grove træk som varmetab minus varmetilskud, og da varmetilskuddet forbliver omtrent det samme ved ændringer i varmetabet, vil det være rimeligt at antage at varmetabet ikke skal reduceres procentvis lige så meget som energibehovet for at opnå den ønskede reduktion i energibehovet.

I projektet "Energieffektive boliger af elementer af letbeton" [3] er der konstateret en lignende sammenhæng mellem transmissionstab og energibehov, idet transmissionstab for de bygninger, der undersøges, og som opfylder de forskellige lavenergiklasser, er reduceret løbende med ca. 25 % med udgangspunkt i BR 2008.

Vurderingen af passende krav til tilbygninger gennem krav til klimaskærmskomponenter er altså ikke baseret på analyser af de økonomiske optimale isoleringsniveauer for de enkelte bygningsdele, men er blot en "oversættelse" af de skitserede energirammer for nybyggeri i 2010, 2015 og 2020, baseret på analyser af typiske bygninger og rimelige/passende forudsætninger vedr. klimaskærm og installationer. I kapitel 2 foretages analyser af hvilke efterisoleringsniveauer, der er rimelige i forbindelse med renovering, i princippet ud fra at man ved en totalenergirenovering skal nå nybyggeri-niveau med en optimal økonomisk balance mellem de enkelte bygningsdeles energirenovering. Disse isoleringsniveauer er ikke nødvendigvis de samme som for tilbygninger.

1.1 Parcelhus

Parcelhuset er beskrevet i Figur 1.



Figur 1. Grundplan og fakta om parcelhuset. Den stiplede linie angiver kanten af tagudhænget. Tagudhænget er husets "solafskærmning".

De energimæssige forudsætninger for klimaskærmskonstruktioner og installationer i de fire forskellige energiklasser fremgår af Tabel 2. De er nærmere forklaret nedenfor.

Tabel 2. Klimaskærm og installationer i relation til de fire energiklasser for parcelhuset.

Klimaskærm	BR 2008	Lavenergi 2	Lavenergi 1	Lavenergi 0
U-værdi, ydervægge	0,20	0,15	0,12	0,09
U-værdi, terrændæk med gulvvarme	0,12	0,09	0,07	0,05
U-værdi, loft- og tagkonstruktioner	0,15	0,12	0,09	0,07
Linietab, fundamenter med gulvvarme	0,12	0,09	0,07	0,05
Linietab, vinduessamlinger	0,03	0,02	0,02	0,02
U-værdi, vinduer og yderdøre	1,50	1,20	1,00	0,80
g _g -værdi, vinduer og yderdøre	0,63	0,50	0,50	0,50
Glasandel [%], vinduer og yderdøre	70	70	80	80
Vinduesandel af etageareal [%]	29	29	29	29
Installationer	BR 2008	Lavenergi 2	Lavenergi 1	Lavenergi 0
Varmeforsyning	N-gas	N-gas	N-gas	N-gas
Kedel	Kondens.	Kondens.	Kondens.	Kondens.
Varmtvandsbeholder	Ja	Ja	Ja	Ja
Varmeanlæg	Gulvvarme	Gulvvarme	Gulvvarme	Gulvvarme
Solvarme, type	-	-	Brugsvand	Kombineret VBV+RV
Behovsstyret pumpe, maks. effekt [W]	60	25	25	25
Ventilationsform	Naturlig	MEK VGV	MEK VGV	MEK VGV
Lufttæthed, infiltration [l/s/m ²]	-	0,100	0,085	0,070
Temperaturvirkningsgrad [-]	-	0,85	0,85	0,85
Elforbrug, SEL [J/m ³]	-	1000	800	600

Isoleringsniveauer for lavenergiklasse niveauerne er fastsat som omtalt tidligere med udgangspunkt i BR 2008 niveau reduceret med ca. 25 % med løbende reference, dvs. at f.eks. ”lavenergi 2” \approx 75 % af ”BR 2008” og at ”lavenergi 1” \approx 75 % af ”Lavenergi 2” osv.

Vinduer og yderdøres energimæssige egenskaber forudsættes gradvist forbedret for de forskellige energiklasser, idet den gennemsnitlige U-værdi reduceres fra 1,50 til 0,80 for lavenergiklasse 0. Lavenergiklasse 0 svarer omtrent til passivhuse og vinduer med U-værdi på 0,80 er netop kendetegnet for passivhuse. Der er forudsat 2-lags energiruder med argon gasfyldning for BR 2008 niveau. For lavenergiklasse 2, 1 og 0 er der antaget 3-lags energiruder. Den forudsatte glasandel på 70 % for huset som helhed, svarer til typiske danske vinduer, mens de 80 % for lavenergiklasse 1 og 0 svarer til vinduestyper med smallere ramme-karm konstruktioner.

Cirkulationspumpen forudsættes at være af sparepumpe typen med behovsstyring. Varmt brugsvand antages produceret i varmtvandsbeholder og med bidrag fra et typiske solvarmeanlæg¹ for lavenergiklasse 1, mens der for lavenergiklasse 0 er forudsat et større anlæg til kombineret solvarme². Der er forudsat balanceret mekanisk ventilation med

¹ 4 m² solfangere mod syd på 45 grader, 230 liter varmtvandsbeholder

² 8 m² solfangere mod syd på 45 grader, 230 liter varmtvandsbeholder, kombineret anlæg til varmt brugsvand og rumvarme.

varmegenvinding for lavenergiklasse 2 og bedre. Både infiltration³ og elforbrug til ventilation⁴ antages bedre/mindre for lavenergiklasserne end krævet i BR 2008.

De beregnede energibehov mm fremgår af Tabel 3.

Tabel 3. Resultater af energiberegninger for parcelhuset.

	BR 2008	Lavenergi 2	Lavenergi 1	Lavenergi 0
Energiramme [kWh/m ² /år]	82,2	58,9	41,1	20,5
Samlet energibehov [kWh/m ² /år]	82,7	60,5	38,3	24,2
Energiramme overholdt:	≈ok	≈ok	ok	≈ok
Rumopvarmning [kWh/m ² /år]	64,8	35,3	21,1	11,3
Overtemperaturer [kWh/m ² /år]	0	0	0	0
Dimens. Transmissionstab [W/m ²]	5,3	4,0	3,2	2,4

Beregningerne viser overordnet set, at der er god sammenhæng mellem de undersøgte isoleringsniveauer og så energirammerne for nybyggeri. Sammenhængen forudsætter en række almindelige og oplagte forbedringer vedr. installationerne.

Energibehovet for lavenergiklasse 0, når ikke helt i mål i forhold til energirammen. Løsningen kunne være ekstra isolering og/eller eventuelt lidt solceller på tag/facade.

Fortolkningsmæssigt åbner BR mulighed for at reducere luftmængden i ventilationsanlægget med infiltrationen, hvilket vil nedsætte energibehovet, men dette er der ikke forudsat i beregningerne.

Det dimensionerende transmissionstab (ekskl. vinduer og døre) er blevet reduceret med 55 %, hvilket som forventet er noget mindre end energibehovet, der er blevet reduceret med 71 %.

³ BR 2008 krav til klimaskærmens lufttæthed er: $q_{50}=1,5 \rightarrow q_n=0,04+0,06 \cdot q_{50}=0,13$ l/s/m². Infiltrationen for lavenergiklasse 2,1 og 0 er baseret på q_{50} lig med hhv. 1,0 ; 0,75 og 0,5 l/s/m²

⁴ BR 2008 tillader 1200 J/m³. Elforbruget for lavenergiklasse 2,1 og 0 antages bedre svarende til 1000, 800 og 600 J/m³. Det laveste elforbrug kan opnås med starte-of-the-art aggregater, optimal indbygning og optimal udformning af kanalsystemet.

1.2 Administrationsbygning

Administrationsbygningen er beskrevet i Figur 2.



Figur 2. Grundplan og fakta om administrationsbygningen.

De energimæssige forudsætninger for klimaskærmskonstruktioner og installationer i de fire forskellige energiklasser fremgår af Tabel 4. Det skal bemærkes at der for terrændæk og fundamenter er regnet med U-værdier/linietab for gulvvarme, selvom der ikke er antaget gulvvarme. Se nærmere nedenfor under konklusion.

Tabel 4. Klimaskærm og installationer i relation til de fire lavenergiklasser for administrationsbygningen.

Klimaskærm	BR 2008	Lavenergi 2	Lavenergi 1	Lavenergi 0
U-værdi, ydervægge	0,20	0,15	0,12	0,09
U-værdi, terrændæk	0,12	0,09	0,07	0,05
U-værdi, loft- og tagkonstruktioner	0,15	0,12	0,09	0,07
Linietab, fundamenter	0,12	0,09	0,07	0,05
Linietab, vinduessamlinger	0,03	0,02	0,02	0,02
U-værdi, vinduer og yderdøre	1,50	1,20	1,00	0,80
g _g -værdi, vinduer og yderdøre	0,63	0,50	0,50	0,50
Glasandel [%], vinduer og yderdøre	70	70	70	70
Vinduesandel af etageareal [%]	31	31	31	31
Solafskærmningsfaktor [-]	0,2	0,2	0,2	0,2
Installationer	BR 2008	Lavenergi 2	Lavenergi 1	Lavenergi 0
Varmeforsyning	N-gas	N-gas	N-gas	N-gas
Kedel	Kondens.	Kondens.	Kondens.	Kondens.
Varmetvandsbeholder	Ja	Ja	Ja	Ja
Varmeanlæg	Radiatorer	Radiatorer	Radiatorer	Radiatorer
Solvarme, type	-	-	-	Kombineret VBV+RV
Behovsstyret pumpe, maks. effekt [W]	75	50	50	50
Belysning	Standard	Standard	Lavenergi	Lavenergi
Ventilationsform	MEK/NAT	MEK VGV	MEK VGV	MEK VGV

Lufttæthed, infiltration [l/s/m^2]	0,130	0,100	0,085	0,070
Temperaturvirkningsgrad [-]	0,75	0,85	0,85	0,85
Elforbrug, SEL [J/m^3]	2000	1500	1250	1000

Forudsætninger vedr. klimaskærmen er som for parcelhuset. Med hensyn til installationer indgår naturligvis belysning i form af et standard belysningsanlæg for BR 2008 og lavenergiklasse 2, men der er forudsat lavenergibelysning for klasse 1 og 0⁵. Der er forudsat 100 % mekanisk ventilation med varmegenvinding for lavenergiklasse 2, 1 og 0. Temperaturvirkningsgraden antages lidt bedre for lavenergiklasserne i form af modstrømvexlere eller lignende med bedre virkningsgrad, mens niveauerne for infiltration og elforbrug til ventilation aftrappes som for parcelhuset. For lavenergiklasse 0 er der forudsat anlæg til kombineret solvarme⁶.

De beregnede energibehov mm fremgår af Tabel 5.

Tabel 5. Resultater af energiberegninger for administrationsbygningen.

	BR 2008	Lavenergi 2	Lavenergi 1	Lavenergi 0
Energiramme [$\text{kWh/m}^2/\text{år}$]	98,4	72,5	51,7	24,6
Samlet energibehov [$\text{kWh/m}^2/\text{år}$]	102,7	75,7	55,9	40,6
Energiramme overholdt:	≈ok	≈ok	≈ok	nej
Rumopvarmning [$\text{kWh/m}^2/\text{år}$]	66,8	37,8	27,5	16,8
Overtemperaturer [$\text{kWh/m}^2/\text{år}$]	0	0	0	2,1
Dimens. Transmissionstab [W/m^2]	4,2	3,1	2,4	1,8

Beregningerne viser relativt god sammenhæng mellem de undersøgte isoleringsniveauer og så energirammerne for nybyggeri. Sammenhængen forudsætter en række almindelige og oplagte forbedringer vedr. installationer.

Energirammen for lavenergiklasse 0 er ikke opfyldt, hvilket skyldes at det er svært at reducere elforbruget til belysning og ventilation til et tilstrækkeligt lavt niveau, og at bygningen har et relativt stort overfladeareal i forhold til etagearealet. En mere kompakt bygning vil alt andet lige have et mindre energibehov.

Det vurderes, at man med det givne lavenergiklasse 0 isoleringsniveau for klimaskærmen umiddelbart godt kan lave lavenergiklasse 0 kontorbygninger, men det kræver fokus på en optimal bygningsudformning, god dagslysudnyttelse og dermed minimering af kunstlysbehovet, optimeret ventilation samt passende og fornuftig anvendelse af vedvarende energi, såsom solvarme.

⁵ Installeret almen belysning på 7 W/m^2 for BR 2008 niveau og lavenergiklasse 2, og for lavenergiklasse 1 og 0 forudsættes lavenergibelysning med installeret effekt på $3,1 \text{ W/m}^2$.

⁶ Kombineret anlæg til varmt brugsvand og rumvarme. $0,5 \text{ m}^2$ solfanger pr. person, persontæthed på $10\text{--}15 \text{ m}^2$ pr. person, alt 26 m^2 solfangere, orienteret mod syd på 45 grader flade.

2 Energibesparelser og økonomi for klimaskærmsrenoveringstiltag

Der er foretaget totaløkonomiske analyser energibesparelser og økonomi for typiske klimaskærmsrenoveringstiltag med henblik på at bestemme de optimale efterisoleringsniveauer. Beregningerne er baseret på beskrivelse af typiske klimaskærmskonstruktioner i eksisterende bygninger og analyser af typiske renoveringstiltag.

Der foretages sidst i kapitlet beregninger af økonomien i andre udvalgte energisparetiltag, som sammenlignes med klimaskærmstiltag for at undersøge om der bør stilles skærpede krav til klimaskærmen eller til andre bygningsdele.

2.1 Metode

Renoveringer gennemføres primært for at opretholde bygningens funktioner, og energibesparelser gennemføres for at spare energi. Derfor er der behov for separate vurderinger af økonomien i hver del. Derfor er det relevant at opdele renovering i niveauer, og i denne rapport opereres med tre renoveringsniveauer:

- **Ingen behov for renovering:** Totale udgifter – renovering alene for at spare energi, relevant i forhold til en forceret energispareindsats
- **Moderat behov for renovering:** Et mellemniveau - f.eks. behov for omfugning af en skalmur, udskiftning af tagbeklædning o. lign.
- **Stort behov for renovering:** Marginale ekstraudgifter - relevant i forbindelse med behov for efterisolering og ny regnskærm pga. nedslidt bygningsdel og f.eks. kuldebroproblemer, vandindtrængen og skimmelsvamp o.lign.

Forskellen på moderat behov for renovering og stort behov for renovering vedrører om der f.eks. ”blot” er behov for ny regnskærm eller om der er behov for en totalrenovering inkl. isolering for at løse kuldebroproblemer mv.

2.1.1 Prissætning af renoveringstiltag

Prissætning af renoveringstiltag baseres på V&S prisbøger [4]. Erfaringsmæssigt ligger V&S-priser noget højere end markedspriserne. Til gengæld er visse følgeudgifter af efterisolering ikke medtaget. Samlet set vurderes det, at de kalkulerede priser vil svare fint til det aktuelle omkostningsniveau ved gennemførelse af renoveringstiltagene. I bilag 1 er der redegjort for forudsætningerne for de prisberegninger, der er gennemført i projektet.

Priserne i V&S prisbøger afspejler de aktuelle pris for f.eks. efterisolering med tykke isoleringslag og andre nuværende specialløsninger. I takt med at markedet for energirenovering udvikles og specialløsningerne optimeres og overgår til standardløsninger vil priserne udvikles i nedadgående retning. Det vurderes, at prisen for de fleste klimaskærmstiltag derved vil blive reduceres med 15-20 %. Vinduesområdet er dog umiddelbart en undtagelse, hvor der historisk set kan forventes større prisfald på nye energibesparende teknologier, der over tid bliver standardløsninger i byggeriet.

2.1.2 Rentabilitetsfaktor

I henhold til bygningsreglementet er man i forbindelse med renovering af eksisterende bygninger forpligtet til at foretage energimæssige forbedringer af berørte bygningsdele til et niveau svarende til niveau for nye bygninger, men kun i et det omfang at det er rentabelt. Hvis der er et mindre omfattende arbejde, der vil kunne nedbringe energiforbruget, og det er rentabelt, er det dette arbejde, der skal udføres.

Et energibesparende tiltag anses for økonomisk rentabelt når rentabilitetsfaktoren, $RF > 1,33$:

$$RF = \frac{B \cdot n_t}{I_{\text{tiltag}}} > 1,33$$

hvor,

I_{tiltag}	=	Investeringen i energitiltag [kr.]
n_t	=	Teknisk levetid [år]
B	=	Besparelsen på energiudgifter [kr./år]

Dette svarer til, at den simple tilbagebetalingstid skal være mindre eller lig med levetiden divideret med 1,33.

Investeringen i energitiltag, I_{tiltag} , er udgiften til den del af renoveringstiltaget, der udelukkende udføres med tanke på at reducere energiforbruget, svarende til at:

Investeringen i energitiltag = Totale udgifter fratrasket udgifter til den del af renoveringen, der alligevel ville være udført.

Følgende to eksempler illustrerer, hvordan investeringen for energibesparende tiltag opgøres for et gulv på strøer og en ydervæg ved forskellige renoveringsbehov.

Eksempel: Terrændæk med trægulv på strøer

Ingen behov for renovering: Gulvet er i fin stand – fejler intet.

Investeringen ved efterisolering af gulvet er lig med den totale anlægsudgift, da tiltaget alene foretages for at spare energi.

Moderat renovering: Gulvet trænger til overfladebehandling.

Hvis det vælges at fjerne strøer, isolering og gulvbeklædning for at lægge højere strøer der giver plads til mere isolering inden en ny gulvbelægning lægges, er anlægsudgiften lig med samtlige udgifter til at fjerne den gamle konstruktion og etablere den nye. Investeringen bestemmes som den totale anlægsudgift fratrasket udgiften til en overfladebehandling.

Behov for renovering: Gulvet er beskadiget på grund af vandskade og skal udskiftes.

Hvis det vælges at ophugge hele terrænkonstruktionen for at kunne udlægge en større mængde isolering uden at øge gulvhøjden, er anlægsudgiften lig med samtlige udgifter til at fjerne trægulv og betonplade, udgrave samt etablere en ny terrændæk konstruktion med øget

isoleringstykkelser. Investeringen bestemmes som den totale udgift fratrasket anlægsudgiften ved blot at udskifte de eksisterende strøer, isolering og gulvbelægning uden at øge isoleringstykkelserne.

Eksempel: Ydervægsfacade

Ingen behov for renovering: Ydervæggen er i fin stand – fejler intet.

Investeringen ved efterisolering af ydervæggen er lig med den totale anlægsudgift, da tiltaget alene foretages for at spare energi.

Moderat renovering: Ydervæggen har behov for en oppudsning / reparation af murværksfuger.

Hvis det vælges at foretage en udvendig efterisolering, er anlægsudgiften lig med samtlige udgifter til etablering af efterisolering. Investeringen bestemmes som den totale udgift fratrasket udgiften til en omfugning af ydermuren.

Behov for renovering: Ydervæggen er nedslidt og dårligt isoleret, og der er betydelige problemer med kuldebroer, vandindtrængen og skimmelsvamp. Der er behov for en efterisolering af ydervæggen med ny regnskærm

Der foretages en yderligere efterisolering i forhold til hvad der er behov for at løse problemet med kolde overflader og kondens. Den totale udgift er samtlige udgifter til etablering af den vidtgående efterisolering. Investeringen bestemmes som den totale udgift fratrasket anlægsudgiften for en efterisolering svarende til ”mindste varmeisolering”.

2.1.3 Energisparepris

Energispareprisen er en økonomisk model, der med baggrund i en annuitetsbetragtning og indregning af levetid og energibesparelser, bestemmer prisen for at spare 1 kWh. Fordelen ved energispareprisen er:

- At den kan sammenlignes direkte med den aktuelle energipris, som et mål for tiltagets lønsomhed (energisparepris < energipris = lønsomt)
- At den gør det nemmere at vurdere økonomi i forhold til forskellige energipriser.
- At den er et godt redskab til at rangordne enkelttiltag af vidt forskellig karakter i forhold til deres totaløkonomi, som kan sættes sammen til optimale kombinationer, som kan sammenlignes med energirammer.

Energispareprisen, på engelsk kaldet ’Cost of Saved Energy’, CSE (eller Cost of Conserved Energy, CCE), angiver den pris, det koster at spare 1 kWh ved det udførte energirenoveringstiltag [kr/kWh]. Ved beregning af CSE tages der hensyn til udgifter til at låne penge til tiltaget.

$$CSE = \frac{\frac{n}{n_t} \cdot a(n, r) \cdot I_{\text{tiltag}} + VO_{\text{årlig}}}{\Delta E_{\text{årlig}}}$$

hvor,

n = Økonomisk levetid [år] – periode for afskrivning af lån – normalt 30 år i Danmark

n_t = Tekniske levetid [år] – tidsrum, hvor tiltaget forventes at fungere hensigtsmæssigt og opfylde de brugsmæssige krav

$a(n, r)$ = Annuitetsfaktor [-] – faktor til omregning af investeringen til årlig ydelse på lån over n år

I_{tiltag} = Investering i energitiltag [kr.]

$VO_{\text{årlig}}$ = Eventuelle vedligeholdelsesudgifter for investering i energitiltag [kr.]

$\Delta E_{\text{årlig}}$ = Årlig energibesparelse [kWh/år]

Det følger indirekte af formlen, at der er en restværdi på $(1 - (n/n_t)) \cdot I_{\text{tiltag}}$. Der regnes med simpel lineær afskrivning, således at restværdien for et tiltag med en teknisk levetid på f.eks. 60 år og en økonomisk tidshorisont på 30 år udgør 50 % af anlægsudgiften opgjort i nutidskroner.

Annuitetsfaktoren beregnes på følgende vis:

$$a(n, r) = \frac{(r - e)}{1 - (1 + (r - e))^{-n}}$$

hvor,

r = Realrenten [-]

Realrenten beregnes som det mulige afkast på en alternativ investering i form af en nominel kalkulationsrente, dvs. en rentesats udtrykt i løbende priser, der korrigeres for skattemæssige forhold og inflation. Energibesparende klimaskærmstiltag skal som minimum give samme afkast, som realrenten giver. Realrenten er ikke en entydig størrelse, men i nogle sammenhænge ses den udregnet med udgangspunkt i en 10-årig statsobligationsrente, forbrugerpriserne og skattesatsen på kapitalindkomst. Realrenten efter skat har før 1990 varieret en del, hvorimod den efter 1990 har ligge nogenlunde konstant på mellem 2 og 3 % pr. år eller derunder⁷. På denne baggrund er det valgt at regne med en lidt konservativ realrente på 2,5 %.

e = Realudviklingen i energiudgifterne [-]

⁷ I ”Bygge/Bolig – en erhvervsanalyse”, Erhvervsfremmestyrelsen, 2000, er redegjort for at realrenten efter skat lå på 2-3 % p.a. i 1990’erne. Den efterfølgende periode har været præget af lavere renter (dog i de senere år en mindre stigende tendens) og relativt uændret inflation og skatteforhold, således at der samlet set er tale om et realrenteniveau som i 1990’erne eller bedre (mindre realrente).

I perioden 1990-2006 er de løbende forbrugerpriser på fyringsolie og naturgas steget ca. 80 %⁸. Det samme antages at gælde øvrige opvarmningsformer, herunder særligt fjernvarme. De 80 % svarer i gennemsnit til en stigning på 3,7 % p.a. Korrigeres for udviklingen i det generelle prisniveau via forbrugerprisindekset (2,4 % p.a.), fås en energiprisstigning målt i faste priser på 1,3 % p.a. Pga. stigende knaphed på fossile brændsler, indfasning af VE og en stigning i den globale efterspørgelse på energi⁹, vil det være rimeligt at antage at realprisstigningen bliver større i perioden 2008-2038 sammenlignet med perioden 1990-2006. Et godt konservativt bud på en realudvikling i energiudgifterne over de næste 30 år vil derfor være 1,5 % p.a. Det kunne eventuelt forsvares at antage en realprisstigning på 2,5 %, der kombineret med en realrente på 2,5 %, reducerer udtrykket for annuitetsfaktoren til $1/n$. I dette "bæredygtige" scenarie undgås det at energibesparelser, der falder langt ud i fremtiden får en væsentligt reduceret nuværdi, hvilket er tilfældet når $(r-e)$ er positiv. Der er generelt i rapporten regnet med en stigning i energiudgifterne på 1,5 % p.a. udover den generelle inflation.

n = Økonomisk levetid [år]

Er forklaret ovenfor.

2.1.4 Energiprisen

Energiprisen (varmeprisen) er interessant i forhold til vurdering af rentabiliteten af energibesparende klimaskærmstiltag, idet rentabiliteten beregnes i form af en energisparepris, som direkte kan sammenlignes med energiprisen (jf. ovenfor). Den nuværende gennemsnitlige varmepris kan bestemmes ud fra oplysninger om hvor stor en andel af bruttoenergiforbruget til rumopvarmning der er fjernvarme mv., og ud fra prisen for de forskellige energikilder. Den gennemsnitlige varmepris fremgår af Tabel 6.

Fordelingen på varmeformer er baseret på boligernes "klimakorrigeret endeligt energiforbrug til rumopvarmning" i energistyrelsens "Energistatistik 2006". Prisen for opvarmningsrelateret VE er antaget at koste det samme som fjernvarme og er således inkluderet i andelen for fjernvarme.

Energipriserne er generelt marginalpriser (uden faste bidrag), som for fjernvarme er den simple gennemsnitlige (uvægtede) varmepris for samtlige fjernvarmeværker, baseret på Energitilsynets varmeprisoversigt fra 21. August 2008: www.energitilsynet.dk. Prisen på fyringsolie og naturgas er fra hhv www.oil-forum.dk og www.gasguiden.dk (priser 23. September 2008). Elprisen er fra Energitilsynets elprisstatistik 1. Januar 2008: www.energitilsynet.dk.

En stor del af bygningsmassen er opvarmet med fjernvarme, som generelt er billigere end øvrige opvarmningsformer, som f.eks. olie og naturgas. Forskellen er særligt stor, når marginalprisen betragtes (uden fast bidrag). Det faste bidrag er for fjernvarme i gennemsnit ca. 30 % af de samlede varmeudgifter, hvilket naturligvis er uhensigtsmæssigt i relation til energibesparelser.

⁸ Energistyrelsens Energistatistik 2006.

⁹ IEA's World Energy Outlook 2006.

Det fremgår af Tabel 6, at den gennemsnitlige marginale varmepris for opvarmning af danske boliger er ca. 0,75 kr/kWh.

Tabel 6. Marginale varmepriser i boliger.

Opvarmningsform	Andel af bruttoenergiforbruget til rumopvarmning (-)	Marginalpris (kr/kWh)
Fjernvarme (+ VE)	0,63	0,61
Fyringsolie	0,15	0,93
Naturgas	0,18	0,85
EL-varme	0,04	1,96
Gns. varmepris	1,00	0,75

Den gennemsnitlige nuværende energipris benyttes i de efterfølgende beregninger og vurderinger af økonomien i energibesparende klimaskærmstiltag og øvrige tiltag.

Energispareprisen kan bruges til at sammenligne med nuværende energipriser med en beskeden realprisudvikling. Man bør desuden vurdere energispareprisen i forhold til en udvikling hvor energiprisen stiger kraftigere f.eks., med en faktor 2 i løbet af kort tid, så derfor kan man vurdere energirenoveringstiltagene ud fra energipriser på 0,75 og 1,50 kr/kWh.

2.1.5 Beregning af energibesparelser

Den årlige energibesparelse, $\Delta E_{\text{årlig}}$, beregnes vha. to forskellige formler, alt efter om der er tale om vinduer eller øvrige ”mørke” klimaskærmskonstruktioner.

For vinduer beregnes den årlige energibesparelse med udgangspunkt i energitilskuddet for vinduer, der tager højde for solindfald. Formlen for energitilskuddet, E [kWh/m²], er:

$$E = 196,4 \cdot g_w - 90,36 \cdot U_w$$

Hvor,

g_w = Vinduets g-værdi [-] = glassets g-værdi x glasandelen

U_w = Vinduets U-værdi [W/m²K]

Denne formel er udviklet i forbindelse med energimærkningsordningen for vinduer og ruder.

Med baggrund i ovenstående formel beregnes den årlige energibesparelse $E_{\text{årlig}}$ [kWh/m²] for vinduer som:

$$E_{\text{årlig}} = (196,4 \cdot g_{w,\text{før}} - 90,36 \cdot U_{w,\text{før}}) - (196,4 \cdot g_{w,\text{efter}} - 90,36 \cdot U_{w,\text{efter}})$$

Hvor,

$g_{w,\text{før}}$ = g-værdi før renovering [-]

$U_{w,\text{før}}$ = U-værdi før renovering [W/m²K]

$g_{w, \text{efter}}$ g-værdi efter renovering [-]
 $U_{w, \text{efter}}$ U-værdi efter renovering [$\text{W/m}^2\text{K}$]

Den årlige energibesparelse, $\Delta E_{\text{årlig}}$ [kWh/m^2], for øvrige ”mørke” klimaskærmskonstruktioner bestemmes ud fra ændringen i transmissionstabet:

$$\Delta E_{\text{årlig}} = \Delta U \cdot G \cdot b$$

hvor,

$\Delta U =$ Ændring i transmissionstab [$\text{W/m}^2\text{K}$]

$G =$ Gradtimetallet, dvs. antallet af timer i fyringssæsonen multipliceret med temperaturforskellen mellem ude og inde [kKh/år]

$b =$ Temperaturfaktoren [-]. Den tager højde for at temperaturforskellen mellem ude og inde ikke er den samme for alle konstruktioner i klimaskærmen (se nedenfor).

Der er regnet med et årligt gradtimal på 90.000 Kelvin timer eller 90 kKh/år . Grundlaget for gradtimalen er en indetemperatur på 20°C og normalt udeklima, og det fremkommer ved at summere temperaturforskellen over fyringssæsonen. Det antages at en ændring i transmissionstabet slår igennem med 100 % på energiforbruget til rumopvarmning (købt energi). Udnyttelsen af efterisoleringstiltag afhænger af bygningens isoleringsstandard, interne varmetilskud, solindfald, varmekapacitet mv. En typisk udnyttelsesfaktor ligger på mellem 0,9 og 1,0. Da varmeanlæggets virkningsgrad ofte også er lidt mindre end 1 vil det være rimeligt at antage at en ændring i transmissionstabet slår igennem med 100 % på bruttoenergiforbruget.

Der anvendes som udgangspunkt en temperaturfaktor b på 1, svarende til en indetemperatur på den indvendige side af bygningsdelen og udetemperatur på den udvendige side af bygningsdelen. Men for terrændæk og etagedæk over uopvarmede kældre og kryberum regnes i henhold til SBI-anvisning 213 [1] med en temperaturfaktor på 0,7. For kælderydervægge i mere end 2 m's dybde er faktoren også 0,7, men der ses bort herfra, idet der regnes med en temperaturfaktor på 1 selvom kælderydervæggen stikker dybere end 2 m.

2.1.6 Isoleringsniveauer

I Tabel 7 og Tabel 8 er redegjort for de isoleringsniveauer, som undersøges mht. energibesparelser og økonomi. De svarer til niveauer for energiklasserne i bygningsreglementet (jf. kapitel 1).

Tabel 7. Efterisoleringsniveauer for klimaskærmen ekskl. vinduer.

Bygningsdel	U-værdier [$\text{W/m}^2\text{K}$]			
	BR2008	Lavenergi 2	Lavenergi 1	Lavenergi 0
Ydervægge og kælderydervægge mod jord	0,20	0,15	0,12	0,09
Skillevægge og etagedæk mod kolde rum	0,40	0,30	0,23	0,17
Terrændæk, kældergulve, dæk over det fri eller ventileret kryberum uden gulvvarme	0,15	0,12	0,09	0,07
Loft- og tagkonstruktioner, herunder skunkvægge, flade tage og skråvægge direkte mod tag.	0,15	0,12	0,09	0,07
Samlinger	Linietab [W/mK]			
Fundamenter	Det undersøges ved detaljeret beregning, hvor meget linietalet reduceres, når fundament og de omkringliggende bygningsdele efterisoleres som angivet ovenfor			

Tabel 8. Energimæssige egenskaber for nye vinduer.

	BR2008	Lavenergi 2	Lavenergi 1	Lavenergi 0
U [$\text{W/m}^2\text{K}$]	1,50	1,20	1,00	0,80
Energirude, type	2-lags	3-lags	3-lags	3-lags
Gasfyldning	Argon	Argon	Argon	Krypton
g_g -værdi [-]	0,63	0,50	0,50	0,50
Energitilskud [$\text{kWh/m}^2/\text{år}$]:				
- Fast karm (glasandel: 80 %)	-37	-30	-12	6
- Oplukkeligt vindue (glasandel: 70 %)	-49	-40	-22	-4
- Dannebrogsvindue (glasandel: 55 %)	-67	-54	-36	-18

Energitilskuddene for vinduer i Tabel 8 er lidt mindre (energimæssigt lidt dårligere) end i forslag til krav til vinduer baseret på krav til energitilskuddet for et referencevindue med standard-dimension [11]. Det skyldes primært at der er regnet med mindre vinduesarealer end for standard-dimensionen, hvilket indvirker på både solindfald og varmetab.

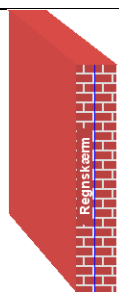
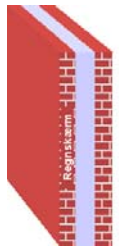
2.2 Typiske klimaskærmskonstruktioner i eksisterende bygninger



Grundlaget for at beskrive de typiske konstruktioner i klimaskærmen er oplysninger om typiske konstruktioner i danske huse i ”Håndbog for Energikonsulenter 2008” [5], ”danskbygningskultur.dk” [6] og projektet: ”Energirenovering af enfamiliehuse” [7]. De anførte U-værdier er beregnet med programmet BuildDesk [8]. De viste illustrationer er ligeledes fra BuildDesk.

2.2.1 Ydervægge

Typiske ydervægskonstruktioner er beskrevet i Tabel 9.

Tabel 9. Typiske ydervægskonstruktioner.



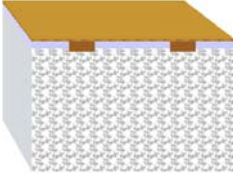
Massivt murværk				
Illustration	Opbygning	Tykkelse [cm]	U-værdi [W/m ² K]	Bemærkninger
	<ul style="list-style-type: none"> • Massiv standard mursten (½, 1, 1½ eller 2 sten) 	47	1,2	Ældre muret byggeri
		35	1,5	Ældre muret byggeri
		23	2,0	Ældre muret byggeri + brystning
		11	3,2	Ældre muret byggeri, + brystning
	• Gasbeton	24	0,8	60'erne
	• 1½ sten mur af mangehulsten	35	1,1	60'erne
Hulmur				
Illustration	Opbygning	Tykkelse [cm]	U-værdi [W/m ² K]	Bemærkninger
	1½ sten uisoleret hulmur: <ul style="list-style-type: none"> • 0,108 m mursten • 0,125 m hulrum • 0,108 m mursten 	35	1,60	Typisk hulmur i ældre murerestervillaer mv.
	1¼ sten uisoleret hulmur: <ul style="list-style-type: none"> • 0,108 m mursten • 0,075 m hulrum • 0,108 m mursten 	30	1,80	Typisk hulmur i ældre murerestervillaer mv.
	1¼ sten uisoleret hulmur: <ul style="list-style-type: none"> • 0,108 m mursten • 0,075 m hulrum • 0,120 m porebeton / 	30	1,00	Opfylder BR op til 1979

	molersten			
	1½ sten isoleret hulmur med trådbindere: <ul style="list-style-type: none"> • 0,108 m mursten • 0,125 m isolering • 0,108 m mursten 	35	0,30	Typisk fuldmuret væg efter BR95 og BR-S 98
	1¼ cm isoleret hulmur med trådbindere: <ul style="list-style-type: none"> • 0,108 m mursten • 0,075 m isolering • 0,108 m mursten 	30	0,48	Typisk fuldmuret hulmur i 1960/70'erne
	1½ sten isoleret hulmur med faste bindere pr. 60 cm: <ul style="list-style-type: none"> • 0,108 m mursten • 0,125 m isolering • 0,108 m mursten 	35	0,70	Linietab på 0,05 W/mK pr. binderside er indregnet i U-værdi
Bærende bagmur				
Illustration	Opbygning	Tykkelse [cm]	U-værdi [W/m²K]	Bemærkninger
	<ul style="list-style-type: none"> • 0,108 m mursten (skalmur) • 0,075 m isolering • 0,075 m letbeton 	28	0,43	1960'erne og 70'erne
	<ul style="list-style-type: none"> • Træbeklædning • 0,010 m ventileret hulrum • Dampspærre • 0,100 m isoleret træskelet • 0,075 m letbeton <p>(cirka samme varmeisolering, som bærende træskeletkonstr.)</p>	21	0,46	1960'erne og 70'erne

2.2.2 Terrændæk

Typiske terrændæk konstruktioner fremgår af Tabel 10.

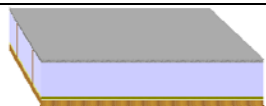
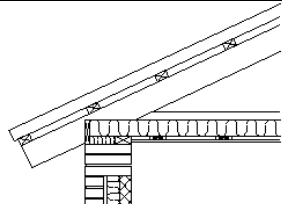
Tabel 10. Typiske terrændæk konstruktioner.

Terrændæk med strøgulv				
Illustration	Opbygning	Tykkelse [cm]	U-værdi [W/m²K]	Bemærkninger
	<ul style="list-style-type: none"> • 0,020 m parketgulv • 0,050 m mineraluld kl. 44 mellem strøer • 50x50 mm strøer på 25x100 mm opklodsning • 0,100 m beton • 0,150 m kapillarbrydende lag 	35	0,32	1960'erne – 70'erne
Terrændæk under vådrum				
Illustration	Opbygning	Tykkelse [cm]	U-værdi [W/m²K]	Bemærkninger
	<ul style="list-style-type: none"> • Klinker • Afretningslag • 0,100 m beton • 0,050 m trykfast isolering • 0,150 m kapillarbrydende lag 	37	0,31	1960'erne – 70'erne
Gulv mod jord				
Illustration	Opbygning	Tykkelse [cm]	U-værdi [W/m²K]	Bemærkninger
	<ul style="list-style-type: none"> • Trægulv på strøer/bjælkelag • Strøer/bjælkelag (75x225mm) • Grus/sten mv. 	-	1,0	Murermestervilla 1850-1940

2.2.3 Loft- og tagkonstruktioner

Typiske loft- og tagkonstruktioner er beskrevet i Tabel 11.

Tabel 11. Loft- og tagkonstruktioner.


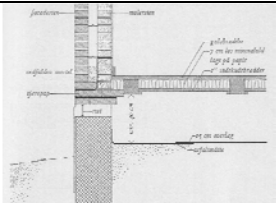
Bjælkespær 15° (fladt tag med tagpap)				
Illustration	Opbygning	Tykkelse [cm]	U-værdi [W/m²K]	Bemærkninger
	<ul style="list-style-type: none"> • 0,022 m isoleringsmåtter mellem spær (50x250mm) • 0,022 m forskalling • Træloft/puds 	32	0,86	1930'erne
	<ul style="list-style-type: none"> • 0,100 m mineraluld mellem spær(50x250mm) • 0,022 m forskalling • Træloft/puds 	32	0,35	1960'erne og 70'erne
Gitter spær 45° – bølgeeternit (uudnyttet loftrum)				
Illustration	Opbygning	Tykkelse [m]	U-værdi [W/m²K]	Bemærkninger
	<ul style="list-style-type: none"> • 0,022 m isoleringsmåtter mellem spærfod (45x195mm) • 0,022 m forskalling 	23	0,86	1930'erne
	<ul style="list-style-type: none"> • 0,100 m mineraluld mellem spærfod (45x195mm) • 0,022 m forskalling • Træloft/puds 	23	0,36	1960'erne og 70'erne

	<ul style="list-style-type: none"> • 0,100 m mineraluld mellem spærfødder (50x225mm) • 0,022 m forskalling • Træloft/puds 			
--	--	--	--	--

2.2.4 Etagedæk over kælder og krybekælder

Typiske etagedæk konstruktioner over kælder og krybekælder er vist i Tabel 12.

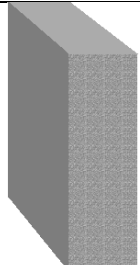
Tabel 12. Typiske etagedæk konstruktioner over kælder og krybekælder.

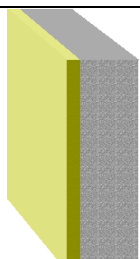
Etagedæk mod kold kælder				
Illustration	Opbygning	Tykkelse [cm]	U-værdi [W/m ² K]	Bemærkninger
	<ul style="list-style-type: none"> • Trægulv + tæppe på bjælker med lerindskud uden isolering 	-	1,30	1940'erne
	<ul style="list-style-type: none"> • Trægulv på bjælker med 50 mm isolering mellem bjælker • Spredt forskalling og træloft 	-	0,50	1950'erne
Etagedæk mod ventileret krybekælder				
Illustration	Opbygning	Tykkelse [cm]	U-værdi [W/m ² K]	Bemærkninger
	<ul style="list-style-type: none"> • Trægulv på bjælker med 100 mm isolering mellem bjælker • Spredt forskalling og træloft 	-	0,40	1970'erne
	<ul style="list-style-type: none"> • Trægulv på strøer på 10-20 cm betondæk 	-	1,40	1940'erne – 50'erne

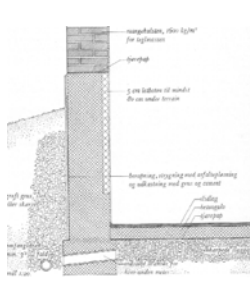
2.2.5 Kælderydervægge og -gulve

Typiske kælderydervægge og -gulve er vist i Tabel 13.

Tabel 13. Typiske kælderydervæge og -gulve.

Kælderydervæg uisoleret				
Illustration	Opbygning	Tykkelse [cm]	U-værdi [$\text{W/m}^2\text{K}$]	Bemærkninger
	<ul style="list-style-type: none"> 0,30 m beton 	30	0,9	1940'erne
	<ul style="list-style-type: none"> 0,35 m letklinkerbeton 	35	0,5	1950'erne

Kælderydervæg isoleret				
Illustration	Opbygning	Tykkelse [cm]	U-værdi [$\text{W/m}^2\text{K}$]	Bemærkninger
	<ul style="list-style-type: none"> 0,05 m isolering indv. 0,35 m letklinkerbeton 	40	0,34	1960'erne og 70'erne

Kældergulv				
Illustration	Opbygning	Tykkelse [cm]	U-værdi [$\text{W/m}^2\text{K}$]	Bemærkninger
	<ul style="list-style-type: none"> 0,1 m beton 	10	0,58	1040'erne
	<ul style="list-style-type: none"> Trægulv 0,1 m beton 0,050 m mineraluld 0,15 m kapillarbrydende lag 0,9 m grus 	-	0,22	1960'erne og 70'erne

2.2.6 Fundamenter

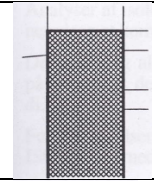
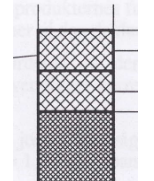
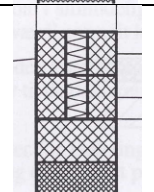
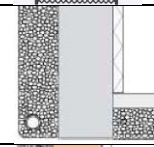
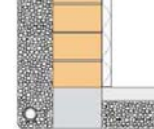
Typiske fundamenter fremgår af Tabel 14, hvor også typiske linietaf tab er angivet.

Linietaf tabet afhænger af udformningen af fundamentets sokkel, materialet i bagmuren samt omfanget af isolering over betonpladen. Hvis der er trægulv over betonpladen reduceres linietaf tabet typisk med 10 % i forhold til værdierne i Tabel 14. Hvis der samtidig er isolering over betonpladen under et strøgulv reduceres linietaf tabet med mere end 10 %.

Hvis terrændækket i periferien er kuldebroafbrudt fra fundamentet er linietaf tabet noget mindre end oplyst i Tabel 14. For terrændæk med kantisolering afhænger fundamentslinietaf tabet primært af soklens udformning (beton, letklinkerbeton eller eventuelt midterisoleret), samt bagmurens varmeledningsevne, dog ikke hvis der er letklinkerbeton i soklen.

Fundamenter med sokkel udført af midterisoleret letklinkerbeton forekommer primært i nyere huse, særligt lavenergihuse.

Tabel 14. Fundamentslinietaf tab for typiske udformninger af ydervægsfundamenter i eksisterende bygninger - gælder for terrændæk med betonplade i kontakt med fundamentet og klinkegulv.

Illustration	Fundament	Ydervæg/bagmur	Linietaf [W/mK]	Bemærkninger
	Betonfundament	Beton	0,80	Jf. bilag 3.3 i "Håndbog for Energikonsulenter 2008": http://www.femsek.dk/sw39344.asp
		Tegl, letbeton eller skeletvæg	0,70	
	Betonfundament med letklinkerbeton i soklen	Beton	0,30	Se også detaljerede beregninger af linietaf tab her i rapporten
		Tegl, letbeton eller skeletvæg	0,25	
	Betonfundament med midterisoleret letklinkerbeton i soklen	-	-	
	Kælderydervægsfundament	Beton	0,40	
	Kælderydervægsfundament	Letbeton	0,30	

2.2.7 Vinduessamlinger

Samlinger omkring vinduer og døre giver anledning til en kuldebro/linietab – et varmetab ”bagom” vinduet/døren. Dette varmetab er relativt beskedent for eksisterende bygninger, hvilket også er afspejlet i den eksisterende beregningsmetode vedr. eksisterende bygninger [5], hvor der kan ses bort fra linietab for vinduessamlinger.


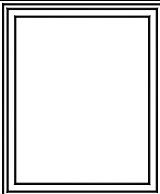
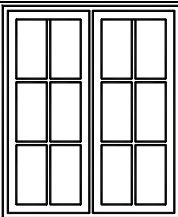
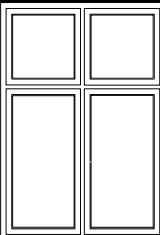
Det er dog afgørende i forbindelse med energirenovering, at ydervægfacader efterisoleres under hensyntagen til vinduets placering og vinduesfalsens isolering. Ved udvendig efterisolering opnås en effektiv kuldebroisolering ved at placere vinduet inden for isoleringstykkelsen, hvilket i øvrigt er i overensstemmelse med dansk byggeskik. Ved indvendig efterisolering er det vigtigt at isoleringen af vinduesfalsen også forbedres. Hvis der placeres et forsatsvindue med energirude så langt inde at det møder efterisoleringen, vil linietabet være beskedent, selvom falsen ikke efterisoleres. Linietabet for vinduessamlinger vil derved kunne reduceres til et beskedent niveau i forbindelse med efterisolering.

Vinduessamlinger behandles ikke yderligere i rapporten.

2.2.8 Vinduer

Typiske vinduer med forskellige rudeopbygninger fremgår af Tabel 15. Opbygningen med "1+1 glas" svarer til vinduer med koblede rammer eller forsatsvindue.

Tabel 15. Typiske vinduer og deres U-værdi, g_g -værdi (rude) og glasandel.

Fast karm	Opbygning	U-værdi [W/m ² K]	g_g -værdi [-]	Glasandel [%]
	• 1-lag glas	5,1	0,85	80
	• 1+1 lag glas	2,6	0,75	80
	• Termorude	2,9	0,75	80
Oplukkeligt vindue	Opbygning	U-værdi [W/m ² K]	g_g -værdi [-]	Ramme/ karmandel [%]
	• 1-lag glas	4,7	0,85	70
	• 1+1 lag glas	2,4	0,75	70
	• Termorude	2,8	0,75	70
Bondehusvindue (småsproset vindue)	Opbygning	U-værdi [W/m ² K]	g_g -værdi [-]	Ramme/ karmandel [%]
	• 1-lag glas	4,2	0,85	60
	• 1+1 lag glas	2,3	0,75	60
	• Termorude	2,7	0,75	60
Dannebrogsvindue	Opbygning	U-værdi [W/m ² K]	g_g -værdi [-]	Ramme/ karmandel [%]
	• 1-lag glas	4,1	0,85	55
	• 1+1 lag glas	2,2	0,75	55
	• Termorude	2,7	0,75	55

2.2.9 Udbredelsen af de typiske klimaskærmskonstruktioner

Udbredelsen af de enkelte typiske klimaskærmskonstruktioner er usikker, men SBI har dog i en rapport fra 2004 om varmebesparelspotentialer i boliger [9] udarbejdet en oversigt over den procentvise fordeling af U-værdier (U-værdi intervaller) på byggeperioder og boligtyper, der til dels gør det muligt at identificere de typiske konstruktioner og de forbedringer som er gennemført. Oversigten er baseret på et relativt lille datagrundlag i form af data fra energimærkningsordningen for perioden 1998-2002.

Rapporten viser f.eks. at der er mange uisolerede ydervægge (massive eller hulmur) med en U-værdi på mellem 1,5 og 1,6 W/m²K i bygninger opført før 1960, mens de fleste ydervægge i bygninger fra perioden 1961-1978 har en U-værdi på mellem 0,4 og 0,5 W/m²K, svarende til en ydervæg med ca. 75 mm isolering. Rapporten viser også at tagkonstruktioner generelt er relativt godt isoleret, men at der fortsat findes en del ældre boliger (fra før 1950) med stort set uisolerede tagkonstruktioner. Mht. vinduer angives at 10 % af det samlede vinduesareal har U-værdier svarende til enkeltlags vinduer, og at op imod 80 % af vinduesarealet i danske boliger udgøres af traditionelle termoruder eller enkeltlags vinduer med forsatsvinduer med U-værdi omkring 3,0 W/m²K.

Varmeforbrugets fordeling i bygningsmassen kan give en idé om hvor det er de dårligst isolerede klimaskærmskonstruktioner findes. I et nyligt afsluttede projekt ”Varmeplan Danmark” [10] har man opgjort varmekonsumet (netto rumvarme og varmt brugsvand) i danske bygninger fordelt på 25 BBR anvendelser og 7 opførelsesperioder. Beregningerne viser at varmekonsumet (kWh/m²) er klart størst i boliger og offentlige institutioner fra før 1960, men også bygninger opført i perioden 1961-1978 har et stort varmekonsum i forhold til nyere bygninger. Ser man samlet set på hvordan varmekonsumet fordeler sig på 6 anvendelseskategorier (se Tabel 16), så er billedet ikke overraskende at boliger tegner sig for klart det største varmekonsum, hele 62 % af det samlede varmekonsum, mens diverse service institutioner står for 10 % af varmekonsumet.

Eksisterende data viser altså at det især er i boliger og institutioner opført før 1979, at der er et højt varmekonsum pga. dårligt isolerede klimaskærmskonstruktioner, hvilket bekræftes af data fra energimærkningsordningen. I nyere huse er det særligt vinduerne der er dårligt isolerede. Dette har god sammenhæng med at det først var fra og med bygningsreglementet 1977 (trådte i kraft 1.2.79), at energikravene til de ”mørke” klimaskærmskomponenter blev skærpet, mens kravet til vinduer først blev skærpet i 1995.

Tabel 16. Bygningsmassens varmemforbrug på landsplan (2006). Kategorien "Service" er bygninger til kulturelle formål, fritidsformål samt institutioner. Varmeforbruget i bygninger udgør ca. 1/3 del af DK's samlede energiforbrug.

Bygningskategori	Areal [Mio. m ²]	Varmeforbrug [GWh/år]	Varmeforbrug [% af total]
Enfamiliehuse	200	26.671	44
Etageboliger	79	11.111	18
Handel	62	6.944	12
Service*	45	6.003	10
Industri	60	5.185	9
Landbrug	129	4.187	7
Total	575	60.101 (216 PJ/år)	100

2.3 Energibesparende klimaskærmsrenoveringstiltag

I det følgende redegøres for klimaskærmsrenoveringstiltag på komponentniveau, som baggrund for beregning af energibesparelser og økonomi for forskellige efterisoleringsniveauer. Der anvendes generelt priser fra V&S - se bilag 1. Alle detaljer vedrørende energibesparelser og økonomi fremgår af bilag 2.

2.3.1 Ydervægge

Følgende forudsættes vedrørende renoveringsniveau:

Ingen behov for renovering:

Renoveringen foretages kun for at opnå en energibesparelse. Prisen for energitiltag (efterisolering) er lig med totaludgiften.

Moderat renovering:

Den eksisterende ydervægs murværk trænger til omfugning. Ved træbeklædning udskiftes denne. Prisen for energitiltag er totaludgiften fratrasket udgiften til fugning/udskiftning af regnskærmen. Ved indvendig efterisolering forudsættes det, at der alligevel skulle være udført en indvendig oppudsning af ydervæggene og at installationerne trænger til renovering.

Behov for renovering:

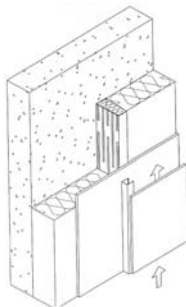
Der renoveres af andre grunde end for at spare energi, idet den eksisterende ydervæg efterisoleres til mindste varmeisoleringsniveau og får ny regnskærm pga. problemer med kuldebroer, fugtindtrængen og evt. skimmelsvamp. Det antages at man i alle tilfælde vil foretage efterisolering med 100 mm isolering, så de første 100 mm energibesparelse betragtes derfor som en sidegevinst, som er gratis. Prisen for energitiltag ved f.eks. 200 mm efterisolering er derfor kun merprisen for de ekstra 100 mm, mens energibesparelsen beregnes på basis af den oprindelige ydervægs U-værdi.

2.3.1.1 Udvendig efterisolering af ydervæg og fundament

Udvendig renovering/efterisolering af facader gennemføres som regel for at opnå energibesparelser, sundere indeklima og forlængelse af bygningens levetid. Udvendig efterisolering påvirker bygningens udseende, hvilket ofte kan være en fordel, men i tilfælde med bevaringsværdige facader er der mulighed for indvendig isolering.

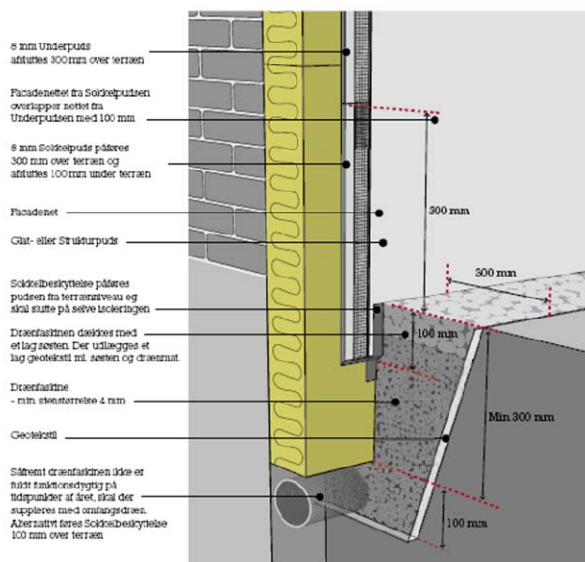
Udvendig efterisolering kan udføres som enten en ventileret konstruktion eller som en uventileret konstruktion, f.eks. som en løsning med puds direkte på efterisoleringen.

Den ventilerede løsning opbygges typisk som en isoleret træ- eller stålskelet konstruktion med regnskærm af pladebeklædning (se Figur 3). Stålskeletløsningen bør opbygges af slidsede stålprofiler frem for massive stålprofiler af hensyn til varmetabet. Det er vigtigt at der etableres en luftspalte mellem tagudhæng og udvendig beklædning, og for at bryde kuldebroen ved murens overgang til fundamentet bør facadeisoleringen føres ned foran soklen til ca. 30 cm under terræn.



Figur 3. Udvendig efterisolering - ventileret konstruktion med pladebeklædning. Isoleringen er fastholdt i en skeletkonstruktion fastgjort til bagvæggen.

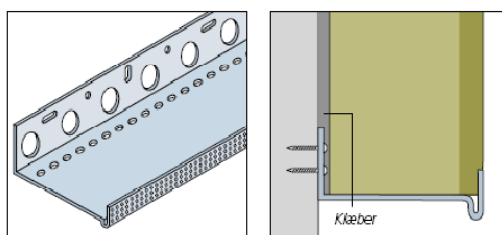
I Figur 4 er vist et typiske eksempel på system til udvendig efterisolering af ydervægge, der udføres ved direkte fastgørelse af facadebatts på den eksisterende konstruktion ved anvendelse af dybiler, og efterfølgende udførelse af en uventileret regnskærm af puds.



Figur 4. Udvendig efterisolering - uventileret konstruktion med pudsløsning. Isoleringen er fastgjort direkte til bagvæggen.

En udvendig efterisolering af fundamentet eller kælderydervæggen bør være en integreret del af at efterisoleringen af facaden, så det ofte betydelige fundamentslinietab kan reduceres. Ofte vil der være ønske om etablering af dræning og i den forbindelse kan isoleringen føres ned til underkant fundament. En isolering på f.eks. halvdelen af fundamentet vil også give en betydelig reduktion i linietabet. Frilægningen af fundamentet i forbindelse med dræning/isolering kan imidlertid medføre sætningsskader. Man bør derfor, inden gravearbejdet påbegyndes, lade en sagkyndig tekniker undersøge husets fundering. På grundlag af denne undersøgelse tilrettelægges, hvorledes frigravning og tilfyldning skal udføres.

Det er også muligt blot at efterisolere facaden ved benyttelse af et sokkelprofil. Sokkelprofilet benyttes dér, hvor isoleringen ikke føres under terræn, og fastgøres til den eksisterende ydervæg (se Figur 5).



Figur 5. Sokkelprofil ved efterisolering af ydervæg, når isoleringen ikke føres under terræn.

Udvendig efterisolering med store isoleringslag af mineraluld (>200 mm) er ikke en kendt løsning i Danmark, men det er opfattelsen at det ikke er et stort problem og omkostningsfuldt, idet det formentlig er et spørgsmål om at dimensionere fastgørelsesbeslagene efter isoleringstykkelsen. I Tyskland findes der mange passivhus certificerede løsninger til renovering med 300-400 mm isolering opsat på bærende bagmur bestående af EPS isolering tilsat brandhæmmere. Lignede produkter/løsninger er en mulighed i Danmark.

Det skal bemærkes at i henhold til Bygningsreglement 2008 (kap. 1.9, stk. 1) betragtes udvendig efterisolering af småhuse udover 25 cm som en udvidelse af arealet og dermed en tilbygning.

2.3.1.2 Indvendig efterisolering

Indvendig efterisolering er som udgangspunkt problematisk, herunder fugtteknisk, og giver en mindre energibesparelse end udvendig efterisolering. Indvendig efterisolering kræver typisk at bygningen fraflyttes under arbejdet og gulvarealet reduceres med isoleringstykkelse. Desuden skal elektriske installationer, rør og radiatorer flyttes. Hvis installationerne alligevel skal renoveres, er det dog oplagt og relativt billigt at samtidig foretage en indvendig isolering. Det er forudsat at indvendig efterisolering foretages i form af en isoleret træ- eller stålskelet konstruktion med beklædning af gips-/træbaserede plader.

2.3.1.3 Hulmursisolering

Efterisolering af hule mure foretages ved mekanisk indblæsning af isolerings granulat. Hulrummet i muren sætter en naturlig begrænsning for mængden af isolering. Der findes to typer af hule mure – mure med faste binderkolonner og mure med trådbindere. Hulmursisolering uden anden for form efterisolering i forbindelse med hule mure med faste bindere giver ikke en effektiv efterisolering, da de faste bindere efterfølgende vil udgøre relativt kraftige kuldebroer, og så er der også tendens til at der dannes luftlommer ved de mursten, der fungerer som bindere. Disse problemer optræder ikke i hule mure med trådbindere. Den typiske U-værdi for hulmursisolerede mure med faste bindere går op til 0,7 W/m²K og afhængig af densitet af murværk og bagvægsmateriale, mens den er ca. 0,3 for mure med trådbindere. Som reference ved beregning af energibesparelser for udvendig eller indvendig efterisolering af hulmursisolerede mure anvendes en middelværdi af disse to yderpunkter svarende til en U-værdi på 0,5.

2.3.2 Terrændæk

Følgende forudsættes vedrørende renoveringsniveau:

Ingen behov for renovering:

Renoveringen foretages kun for at opnå en energibesparelse.

Moderat renovering:

Den eksisterende gulvbelægning er slidt og trænger til renovering i form af afslibning og ny overfladebehandling. For gulvbelægning af klinker antages det at klinkerne skiftes.

Behov for renovering:

Her antages det at hele den eksisterende gulvkonstruktion inkl. betonpladen skal udskiftes, som en konsekvens af vandskade eller lign.

2.3.2.1 Efterisolering mellem strøer

Ved udskiftning af strøgulve kan der udlægges isolering i hulrummet eller isoleringen kan udskiftes med bedre isolering. Hvis rumhøjde og placering af dørhuller mv. tillader det, kan gulvniveauet flyttes op og isoleringen kan øges.

Store isoleringstykker over betonpladen er umiddelbart problematiske af hensyn til risiko for kondensdannelse på fugtspærren/oversiden af betonpladen. Det er erfaringsmæssigt fugtmæssigt tilladeligt at udlægge 50 mm isoleringstykkelsen over betonpladen, når der ikke er isolering under betonpladen. Er der isolering under betonpladen, kan isoleringstykkelsen under strøgulvet øges. Det antages dog, at det under visse forhold kan være fugtteknisk acceptabelt og praktisk udføreligt med en isoleringstykkelse over betonpladen på 150-200 mm, svarende til en U-værdi på ca. 0,15 W/m²K.

2.3.2.2 Efterisolering nedefra ved ophugning og udgravning til ny konstruktion

Det er muligt at øge isoleringstykkelsen betydeligt ved ophugning og udgravning af det eksisterende terrændæk. Renoveringstiltaget udføres ved først at fjerne den eksisterende gulvkonstruktion inklusiv betonplade mv., hvorefter der yderligere kan graves ud til isoleringen. Derefter opbygges den nye konstruktion med et kapillarbrydende lag, trykfast isolering, betonplade med eller uden gulvvarme samt ny gulvbelægning. Isoleringstykkelsen er begrænset af dybden på fundamentet, da det umiddelbart ikke er muligt at grave dybere end dette niveau eller ca. 90 cm under terræn. Efterisoleringen er begrænset af hvorvidt de indvendige vægge står på punktfundamenter, randfundamenter eller er placeret direkte på terrændækket. Som udgangspunkt bør indervægge og deres fundamenter fjernes, så der kan laves en effektiv isolering af terrændækket med nye kuldebroafbrudte indervægsgfundamenter. Dette kan kombineres med et ønske om anden ruminddeling.

2.3.3 Loft- og tagkonstruktioner

Følgende forudsættes vedrørende renoveringsniveau:

Ingen behov for renovering:

Renoveringen foretages kun for at opnå en energi energibesparelse.

Moderat renovering:

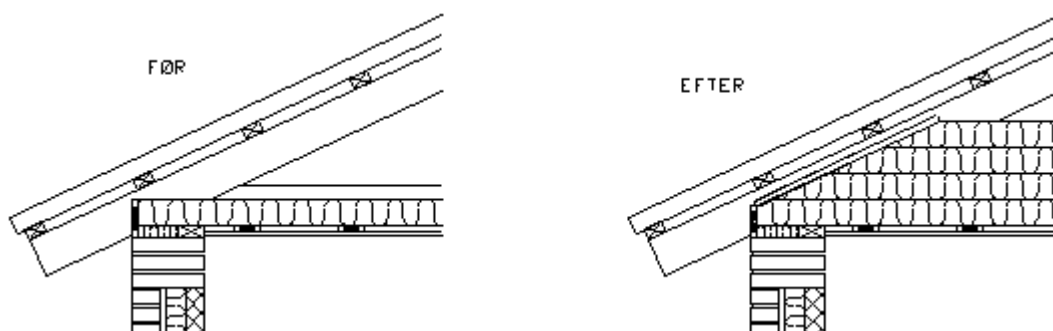
Det antages at tagbeklædningen står for udskiftning og at det er nødvendigt at også undertag, afstandslist og lægter udskiftes. Investeringsprisen bliver udgiften til den øgede mængde isolering.

Behov for renovering:

Det antages at tagkonstruktionen står til udskiftning. Investeringsprisen bliver udgiften til den øgede mængde isolering.

2.3.3.1 Efterisolering af gitter- og hanebåndsspær konstruktioner

I forbindelse med udskiftning af tag, fjernes den oprindelige isolering, og der udlægges et nyt og tykkere lag isolering, evt. med bedre isolerende egenskaber. Den gamle tagbeklædning, lægter og isolering fjernes. Hvis det er nødvendigt, oprettes eller udskiftes de eksisterende spær før der udlægges nyt undertag, afstandslist, lægter samt tagbeklædning. På grund af forankringen af taget er det vigtigt at den nye tagbeklædning enten er magen til eller tungere end den gamle beklædning, da forankringen ellers skal gøres tidssvarende. Gangbroen bevares da den antages at være en del af bygningens afstivning. Over gangbroen benyttes en trykfast isolering, som afsluttes med en krydsfinerplade eller lignende.



Figur 6. Eksempel på gitterspærkonstruktion før (til venstre) og efter (til højre) en efterisolering i det uudnyttede tagrum. Hånebåndsspær efterisoleres efter samme princip.

2.3.3.2 Efterisolering af skrå- og skunkvægge

Indvendig efterisolering af skrå- og skunkvægge kan nemt foretages uden at ændre på den eksisterende konstruktion ved opsætning af isoleringsbatts på indersiden af den oprindelige konstruktion. Ulempen er at boligarealet mindskes, hvilket kan være uacceptabelt, i tilfælde hvor pladsforholdene i forvejen er trange. Skunkvægge- og gulv kan også relativt nemt efterisoleres udvendigt, hvis der er adgang og plads til det i skunken. Isolering af skunkgulve kan også udføres som for beskrevet nedenfor under etageadskillelse.

Efterisolering af skråvægge kan alternativt udføres ved en øgning af spærhøjden. Dette gøres nemmest og billigst i forbindelse med udskiftning af tagbeklædningen. I stedet for blot at udskifte tagbeklædningen udskiftes hele konstruktionen, med nye spær med større dimension for at give plads til den ekstra isolering. Da der er tale om en ændring af den primære konstruktion skal der tages højde for at forankringen af taget skal ændres så den bliver tidssvarende. Det vil sige at forankringen af spærerne skal udføres med trækbånd der forankres i fundamentet.

2.3.3.3 Isolering af flade tage – udvendigt eller ved indblæsning

Merisolering af kolde flade tage foregår oftest ved, at sternbrættet forhøjes, og ny isolering og tagdækning (tagpap på isolering) monteres ovenpå den eksisterende tagdækning. Ved kolde tage forstås, at isoleringen er placeret mellem bjælkerne med et ventileret hulrum ovenover og derefter krydsfiner eller brædder med tagdækning. Passende efterisoleringen hæver typisk temperaturen i den gamle konstruktion så meget, at risikoen for skadelig fugtophobning efterfølgende er minimal. Det skal bemærkes, at den udvendige merisolering ændrer det kolde tag til et varmt tag uden ventilation. Den oprindelige ventilation bør dog ikke lukkes før først kommende juli/august, for at undgå at lukke fugt inde i konstruktionen. Da den oprindelige tagdækning kommer til at fungere som dampspærre, er det yderst vigtigt at åbninger efter f.eks. udluftningshætter lukkes lufttæt.

Efterisolering kan også foretages ved indblæsning i den eksisterende konstruktion ved at de nederste sternbrædder afmonteres på begge sider af taget. Herefter indskyder isolatøren isoleringsark samt indblæsningsrør oven på den gamle isolering i hulrummet under taget. Herefter indblæses granulat af isolering, som gradvist løfter isoleringsarkene til de rører undersiden af taget. Samtidig danner isoleringsarkene luftkanaler, der sikrer at taget får den ventilation, der kræves. Denne metode benyttes af autoriserede built-up isoleringsfirmaer.

2.3.4 Etagedæk over kælder og krybekælder

Følgende forudsættes vedrørende renoveringsniveau:

Ingen behov for renovering: Renoveringen foretages kun for at opnå en energibesparelse.

Moderat renovering: Der er behov for efterisolering pga. komfortproblemer med kolde gulve mod kold kælder. Efterisoleringen udføres svarende til mindste isoleringskrav.

Behov for renovering: -

Det skal bemærkes krybekældre med højde under 50 cm som udgangspunkt ikke kan efterisoleres. For konstruktioner med lerindskud fjernes denne først, for at muliggøre en udskiftning med isolering. Først opsættes dampspærren under gulvet og derefter opsættes isoleringen mellem bjælkerne. Hvis det er muligt, kan der krydsforskalles og yderligere et lag isolering kan opsættes. Efter at der er efterisoleret, kan det være nødvendigt at øge ventilationen i krybekælderen for at undgå råd og svamp, idet det reducerede varmetab til krybekælderen alt andet lige vil øge den relative fugtighed i krybekælderen.

2.3.5 Kælderydervægge og -gulve

Følgende forudsættes vedrørende renoveringsniveau:

Ingen behov for renovering: Renoveringen foretages kun for at opnå en energibesparelse.

Moderat renovering: Der forekommer fugtproblemer og væggen er kold, så der ønskes etablering af omfangsdræn og efterisolering svarende til mindste isoleringskrav.

Behov for renovering: -

2.3.5.1 Kældergulve

Isolering af kældergulve udføres som isolering af terrændæk.

2.3.5.2 Kælderydervægge, udvendig isolering

Udvendig isolering af kælderydervægge mod jord udføres ved at montere og fastgøre isoleringen på væggen med tætte samlinger. Der foretages efterfyldning med drænende materialer f.eks. grus. Ren lerjord bør ikke anvendes direkte mod udvendig kælderisolering, da overfladevand kan blive standset og ikke kan komme ned til omfangsdrænet. Afsluttes isoleringen under terræn afdækkes den mod mekaniske påvirkninger med f.eks. betonsten eller plast-/zinkafdækning. Foretages isolering over terræn op til ydervæggens isolering beskyttes isoleringen med pladebeklædning af f.eks. eternit eller pudslag af hensyn til mekaniske påvirkninger.

2.3.6 Fundamenter

Udvendig fundamentsisolering er beskrevet under ydervægge og udvendig isolering.

Der er foretaget beregninger af effekten på linietafet af udvendig efterisolering af typiske fundamenter. Beregningerne er foretaget med et relevant og detaljeret program til varmetabsberegninger og efter gængse beregningsmetoder¹⁰.

Fundamentslinietafet afhænger af udformningen og isoleringen af ydervæg og terrændæk. Der er taget udgangspunkt i udvendig efterisolering af fundamenter til 30 cm isoleret hulmur og et terrændæk med 50 mm isolering under betonpladen. Det er antaget at den udvendige facadeisolering føres 90 cm ned under terræn til underkant fundament i samme tykkelse. Fjernelse af jorden kan som tidligere nævnt medføre sætningsskader. Udførelsen af udvendig efterisolering af fundamenter bør derfor altid baseres på en sagkyndig teknikers undersøgelse af bygningens fundering.

¹⁰ Udført med programmet HEAT2 Version 7.0 efter beregningsmetode beskrevet i annek D til DS 418/2002: Beregning af bygningers varmetab.

Der er regnet på en to renoverings tilfælde:

1. Der er behov for/ønske om en udvendig facade- og fundamentsisolering samt en totalrenovering af terrændækket i form af et helt nyt terrændæk.
2. Der er behov for / ønske om en udvendig facade- og fundamentsisolering. Det vil sige terrændækket efterisoleres ikke.

Der er regnet på to isoleringsniveauer, idet isoleringsniveauet for terrændæk kun er relevant for tilfælde 1:

Isoleringsniveau	BR08	BR15
U-værdi ydervæg	0,20	0,12
Efterisoleringstykkelse på ydervæg og fundament	150	300
U-værdi terrændæk	0,12	0,07
Efterisoleringstykkelse i terrændæk	215	450

De beregnede linietaf fremgår af Tabel 17.

Tabel 17. Linietaf Ψ_f [W/mK] for ydervægsgfundamenter ved udvendig efterisolering af ydervæggsfacade, fundamenter og inkl. og ekskl. etablering af nyt terrændæk¹¹

1. Nyt efterisoleret terrændæk				
Fundament	Bagmur	BR08	BR15	Før renov. ¹
Beton	Beton	0,31	0,29	0,90/0,71
Beton	Tegl/letbeton	0,26	0,25	0,81/0,57
Beton	Letbeton	0,21	0,21	0,75/0,47
Letklinkerbeton	<i>Uden betydning</i>	0,12	0,11	0,37/ 0,33
2. Eksisterende terrændæk efterisoleres ikke				
Fundament	Bagmur	BR08	BR15	Før renov.
Beton	Tegl/letbeton	0,35/0,27	0,31/0,25	
Letklinkerbeton	<i>Uden betydning</i>	0,23/0,21	0,20/0,19	

¹ værdierne er for gulv med 50 mm isolering hhv. under / over betonpladen

På baggrund af beregningerne kan konkluderes følgende:

- Linietafet afhænger generelt kun lidt af efterisoleringsniveauet for ydervæg og terrændæk.

¹¹ Der er generelt benyttet en varmeledningsevne for beton på 2,0 W/mK, tegl på 0,7 W/mK (eller letbeton) og letbeton på 0,3 W/mK. For letklinkerbeton i fundamentet er der regnet med en varmeledningsevne på 0,25 W/mK. Der er regnes med designværdi mod jord for fundamentsisoleringen. For nyt terrændæk er der regnet med en kuldebroisolering på 50 mm mellem betonplade og fundament.

- Det ser ud til at en udvendig efterisoleringstykkelse på fundamenter på ca. 150 mm er optimal. Det har kun meget lille effekt på linietabet at øge isoleringstykkelse til 300 mm.
- Linietabet kan reduceres ved at forhindre varmemestrøm nedenom fundamentet, f.eks. ved indvendig isolering op ad bagmuren og/eller vandret isolering ved underkant fundamentsisolering.
- Linietabet afhænger en del af bagmuren, når terrændækkets betonplade er kuldebroafbrudt fra betonplade (tilfælde 1)
- Der er foretaget en beregning af effekten af kun at efterisolere fundamenter til 45 cm under terræn. For et betonfundament og ydervæg med tegl i bagmuren og nyt terrændæk, der efterisoleres til BR08 niveau, forøges linietabet fra 0,26 til 0,30 W/mK.

Fundamentslinietabet kan altså reduceres til 0,20 til 0,30 W/mK for betonfundamenter og ca. 0,10 W/mK for letklinkerbeton, hvis efterisoleringen sker i forbindelse med etablering af et nyt terrændæk. Hvis terrændækket ikke efterisoleres/renoveres, kan linietabet reduceres til 0,20 til 0,35 W/mK afhængig materiale i soklen og om der er isolering over betonpladen.

2.3.7 Vinduer

Forskellige vinduestyper betragtes svarende til vindue med fast karm, oplukkeligt vindue, bondehusvindue og dannebrogsvindue. Følgende forudsættes vedrørende renoveringsniveau:

Ingen behov for renovering: Vinduet er i fin stand og renoveringen foretages kun for at opnå en energibesparelse.

Moderat renovering: Det eksisterende vindue trænger til afslibning og ny overfladebehandling.

Behov for renovering: For 1+1 løsninger udskiftes det inderste glas med et energiglas. I de andre to tilfælde - 1-lag glas og termorude – er udgangspunktet etablering af forsatsvindue med ét energiglas.

Der tages altså udgangspunkt i et behov for renovering af eksisterende vinduer, da man ofte blot vil forsøge at forbedre de eksisterende løsninger. Med dette som udgangspunkt undersøges økonomien i en fremtidssikret løsning i form af udskiftning af eksisterende vinduer med tilsvarende nye og energimæssigt bedre vinduer med 2- og 3-lags lavenergiruder, hvilket er rimeligt da mange eksisterende vinduer trods alt er udskiftningsmodne.

Udskiftning af blot de eksisterende ruder er en mulighed, men det skal bemærkes at det vil ofte kræve tilpasninger og evt. tilsætninger til den eksisterende ramme/karm konstruktion, særligt hvis der udskiftes til 3-lags ruder.

2.4 Energisparepriser for klimaskærmstiltag

I dette kapitel præsenteres resultaterne af de økonomiske analyser af forskellige energibesparende klimaskærmstiltag i eksisterende bygninger. Økonomien er beregnet under forudsætning af tre niveauer af renoveringsbehov, svarende til:

- Ingen behov for renovering
- Moderat behov for renovering
- Stort behov for renovering

Økonomien i form af totaløkonomien set over en 30 års periode, er udtrykt ved energispareprisen CSE. Rentabilitetsfaktoren RF, som bygningsreglementet anvender som målestok for om et energisparetiltag er rentabelt, fremgår af de samlede detaljerede resultater i bilag 2.

Energispareprisen er velegnet til vurdering af det optimale efterisoleringsniveau eller om givne efterisoleringsniveauer er rentable. Så længe energispareprisen er mindre end energiprisen er efterisoleringstiltaget lønsomt/rentabelt.

Man bør derfor som udgangspunkt efterisolere svarende til en neutral totaløkonomi (energisparepris = energipris). Dette efterisoleringsniveau synliggøres i det følgende. Efterfølgende sammenlignes klimaskærmstiltag med andre typiske energisparetiltag, som f.eks. mekanisk ventilation med varmegenvinding.

For hver bygningsdel angives beregningsresultaterne i et skema, hvor første kolonne beskriver de eksisterende konstruktioner, efterisoleringsløsning og U-værdi før renovering. Under skemaerne er beskrevet forudsætninger vedr. renoveringsbehov, som har afgørende betydning for økonomien. Selve resultaterne er energisparepriser for hvert af de 3 renoveringsniveauer og de 4 efterisoleringsniveauer.

Det gælder generelt, at følgende parametre påvirker energispareprisen:

- Isoleringsniveauet for den oprindelige konstruktion
- Udgangspunktet i form af behovet for renovering
- Efterisoleringsomfanget

2.4.1 Ydervægge

I Tabel 18 er vist energisparepriser for efterisolering af typiske ydervægskonstruktioner i den danske bygningsmasse.

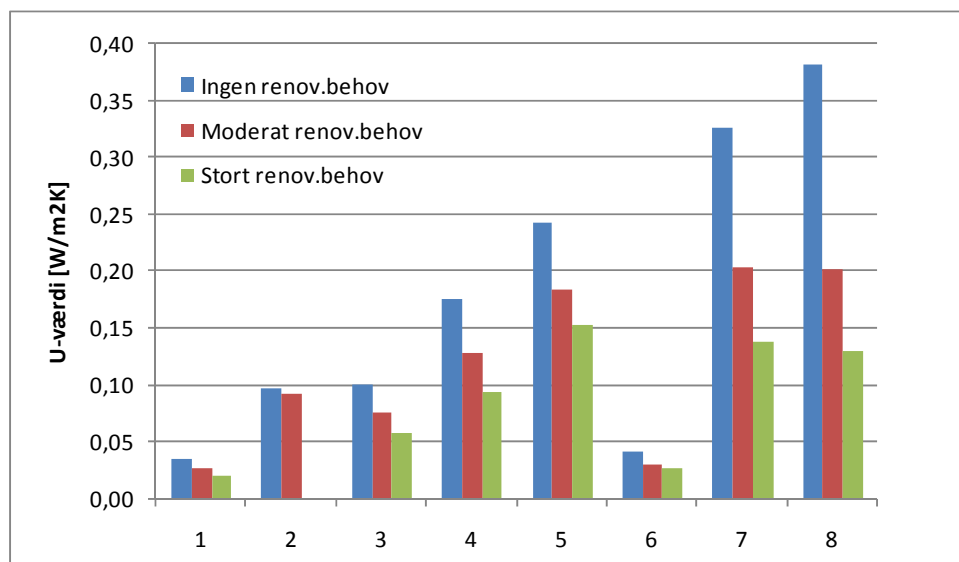
Tabel 18. Energisparepris for efterisolering af typiske ydervægskonstruktioner.

	Renoveringsbehov	Ingen				Moderat				Stort			
	Isoleringsniveau, U-værdi	0,20	0,15	0,12	0,09	0,20	0,15	0,12	0,09	0,20	0,15	0,12	0,09
1	Massiv ydervæg, teglsten, 1 sten; Udv. efterisolering vent.; U = 2	0,26	0,32	0,35	0,48	0,17	0,23	0,27	0,39	0,07	0,13	0,17	0,30
2	Massiv ydervæg, teglsten, 1 sten; Indvendig efterisolering; U = 2	0,37	0,49	0,61	0,81	0,34	0,46	0,58	0,78	-	-	-	-
3	Massiv ydervæg, teglsten, 2 sten; Udv. efterisolering vent.; U = 1,2	0,42	0,52	0,62	0,83	0,26	0,36	0,46	0,68	0,08	0,19	0,30	0,52
4	Massive ydervægge, gasbeton; Udv. efterisolering vent.; U = 0,8	0,70	0,84	0,98	1,29	0,43	0,58	0,74	1,06	0,14	0,31	0,47	0,81
5	Massive ydervægge, gasbeton; Udv. efterisolering uvent.; U = 0,8	0,95	1,20	1,35	1,71	0,68	0,96	1,11	1,48	0,49	0,78	0,94	1,31
6	35 cm Hulmur, uden isolering; Udv. efterisolering vent. + hulumursisolering; U = 1,6	0,31	0,36	0,43	0,53	0,20	0,25	0,32	0,42	0,15	0,21	0,28	0,39
7	30 cm Hulmur, hulumursisoleret; Udvendig efterisolering ventileret; U = 0,5	1,40	1,55	1,75	2,24	0,86	1,08	1,32	1,84	0,27	0,58	0,85	1,40
8	Bærende bagmur, formur af tegl; Udvendig efterisolering ventileret; U = 0,43	1,48	1,74	1,96	2,34	0,77	1,15	1,43	1,86	0,01	0,52	0,86	1,33

Ingen renoveringsbehov = Renovering alene for at spare energi

Moderat renoveringsbehov = Pris for omfugning er fratrasket anlægsudgiften

Stort renoveringsbehov = Pris for 100 mm efterisolering (ca. mindste varmeisolering) til eliminering af problemer med kuldebroer/skimmelsvamp er fratrasket anlægsudgiften



Figur 7. Ydervægges efterisoleringsniveau svarende til energisparepris = energipris = 0,75 kr/kWh.

Figur 7 viser at det kan betale sig at efterisolere til et højt isoleringsniveau i forbindelse med behov for renovering. Det ses, at et isoleringsniveau under 0,15 W/m²K er økonomisk rentabelt, når ydervægge alligevel efterisoleres med ny regnskærm. Dette isoleringsniveau svarer jf. tidligere i rapporten til BR 2010 niveau.

2.4.2 Terrændæk

I Tabel 19 er vist resultater af beregningerne for terrændæk. Der er regnet på eksisterende konstruktioner i form af hhv. et let isoleret terrændæk med 50 mm isolering under betonpladen og en U-værdi på ca. 0,30 W/m²K, samt et dårligt, uisolert terrændæk med U-værdi på ca. 1 W/m²K. Jordisolansen bidrager betydeligt i førstnævnte tilfælde. En U-værdi på 1,0 W/m²K for terrændæk med strøgulv direkte på jord er en beregningsteknisk værdi, som fremgår af Håndbog for Energikonsulenter 2008, idet det er antaget at hulrummet ventileres med et luftskifte på ca. 1 gang i timen.

Økonomien er beregnet i følgende to tilfælde:

- Efterisolering oppefra ved at øge gulvhøjden. Det er antaget for fugtteknisk acceptabelt og praktisk udføreligt med en isoleringstykkelse over betonpladen på maksimalt 150-200 mm, svarende til en U-værdi på ca. 0,15 W/m²K
- Efterisolering nedefra ved at fjerne gulvbelægning og betonplade og grave ud til etablering af et nyt højisolert terrændæk

Tabel 19. Energisparepriser for efterisolering af typiske terrændæk konstruktioner uden gulvvarme.

Renoveringsbehov	Ingen				Moderat				Stort			
	0,15	0,12	0,09	0,07	0,15	0,12	0,09	0,07	0,15	0,12	0,09	0,07
Isoleringsniveau, U-værdi												
Terrændæk med klinkegulv; Gulvet hugges op og der graves ud; U = 0,32	6,06	5,59	5,24	5,24	2,09	2,22	2,31	2,55	0,29	0,65	0,92	1,23
Terrændæk med klinkegulv; Gulvet hugges op og der graves ud; U = 0,33	3,49	3,57	3,66	3,94	1,73	2,07	2,34	2,72	0,57	1,07	1,47	1,92
Terrændæk, strøgulv på jord; Gulvet hugges op og der graves ud; U = 1	0,59	0,71	0,83	0,97	0,36	0,48	0,61	0,75	0,25	0,38	0,51	0,65
Terrændæk med strøgulv; Gulvhøjden øges; U = 0,33	2,56	-	-	-	1,07	-	-	-	0,61	-	-	-
Terrændæk, strøgulv på jord; Gulvhøjden øges; U = 1	0,61	-	-	-	0,37	-	-	-	0,16	-	-	-

Ingen renoveringsbehov: Renovering alene for at spare energi

Moderat renoveringsbehov: Pris for udskiftning af gulvbelægningen er fratrasket anlægsudgiften.

Stort renoveringsbehov: Pris for at udskifte hele den eksisterende gulvkonstruktion som en konsekvens af vandskade eller lign. (herunder ophugning af gulvpladen) er fratrasket anlægsudgiften

Beregningerne viser at der er relativt dårlig økonomi i at efterisolere en let isoleret terrændæk konstruktion, som er typisk for huse fra 1960/70'erne. Det er dog økonomisk fornuftigt, at opgradere til en U-værdi på mindst $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, hvis terrændækket alligevel skal skiftes (stort renoveringsbehov).

Beregninger viser også at strøgulv på jord, som er typisk konstruktion i mange ældre huse, er det rentabelt at isolere til højt niveau (f.eks. $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$) i forbindelse med etablering af et isoleret terrændæk. I alle tilfælde er det økonomisk fornuftigt at isolere oppefra til $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, selvom energibesparelsen skal betale for et nyt trægulv (= ingen behov for renovering).

Det må forventes at økonomien i energirenovering af terrændæk forbedres i fremtiden ved øget efterspørgelse og optimering af nuværende løsninger.

2.4.3 Loft- og tagkonstruktioner

I Tabel 20 fremgår resultater af beregninger af typiske loft- og tagkonstruktioner. De viser, at det generelt er rentable at efterisolere til et højt isoleringsniveau i forbindelse med renovering. For de dårligt isolerede konstruktioner er det rentabelt alene at efterisolere for at spare energi.

Tabel 20. Energisparepriser for efterisolering af typiske loft- og tagkonstruktioner.

Renoveringsbehov	Ingen				Moderat				Stort			
Isoleringsniveau, U-værdi	0,15	0,12	0,09	0,07	0,15	0,12	0,09	0,07	0,15	0,12	0,09	0,07
Fladt tag, bjælkespær 22 mm isol.; Øgning af spærhøjde - udskiftning af spær; U = 0,86	0,66	0,68	0,74	0,82	0,57	0,60	0,66	0,75	0,06	0,12	0,21	0,25
Gitterspær, uudnyttet loftrum, 22 mm isolering; Indvendig efterisolering - udskiftning af tagbeklædning; U = 0,86	0,25	0,26	0,27	0,29	0,08	0,10	0,12	0,15	-	-	-	-
Gitterspær, uudnyttet loftrum, 22 mm isolering; Indvendig efterisolering - udskiftning af spær; U = 0,86	0,44	0,44	0,45	0,46	0,27	0,28	0,29	0,32	0,08	0,10	0,12	0,15
Gitterspær, uudnyttet loftrum, 100 mm isolering; Indvendig efterisolering - udskiftning af tagbeklædning; U = 0,36	0,89	0,83	0,81	0,84	0,33	0,34	0,37	0,43	-	-	-	-
Hanebåndsspær, udnyttet loftrum, 20 mm isolering, skråvæg; Isolering mellem spær + indvendig isolering - udskiftning af tagbeklædning; U = 1,1	0,29	0,32	0,41	0,48	0,16	0,20	0,28	0,36	-	-	-	-

Ingen renoveringsbehov: Renovering alene for at spare energi

Moderat renoveringsbehov: Generelt: Pris for ny tagbeklædning er fratrukket anlægsudgiften

Stort renoveringsbehov: Generelt: Pris for ny tagkonstruktion er fratrukket anlægsudgiften

2.4.4 Etagedæk mod kælder og krybekælder

Tabel 21 viser beregnede energisparepriser ved efterisolering af etagedæk mod hhv. ventileret krybekælder og en almindelig kold kælder. Beregningerne viser, at der generelt er god økonomi i vidtgående efterisolering af etagedæk. Et typisk isoleret krybekældermed dæk med 100 mm isolering er det rentabelt at isolere til ca. 0,15 W/m²K ved behov for renovering.

Tabel 21. Energisparepriser ved efterisolering af typiske etagedæk mod ventileret krybekælder og kold kælder.

Renoveringsbehov	Ingen				Moderat				Stort			
Isoleringsniveau, U-værdi	0,15	0,12	0,09	0,07	0,15	0,12	0,09	0,07	0,15	0,12	0,09	0,07
Etagedæk mod ventileret krybekælder, trægulv på strøer på betondæk; Efterisolering mod krybekælder; U = 1,4	0,25	0,31	0,40	0,51	0,16	0,23	0,32	0,43	-	-	-	-
Etagedæk mod ventileret krybekælder, bjælkelag med trægulv med 100 mm isolering; Efterisolering mod krybekælder; U = 0,4	0,88	1,11	1,39	1,86	0,71	0,96	1,25	1,73	-	-	-	-
Renoveringsbehov	Ingen				Moderat				Stort			
Isoleringsniveau, U-værdi	0,40	0,30	0,23	0,17	0,40	0,30	0,23	0,17	0,40	0,30	0,23	0,17
Etagedæk mod kold kælder, træbjælkelag med indskudsler; Efterisolering mod kælder; U = 1,3	0,13	0,16	0,20	0,25	0,04	0,08	0,12	0,18	-	-	-	-
Etagedæk mod kold kælder, bjælkelag med trægulv med 50 mm isolering; Efterisolering mod kælder; U = 0,5	0,47	0,52	0,60	0,69	0,15	0,36	0,48	0,59	-	-	-	-

Ingen renoveringsbehov: Renovering alene for at spare energi

Moderat renoveringsbehov: Der er behov for renovering pga. komfortproblemer med kolde gulve. Pris for efterisolering svarende til mindste isoleringskrav er fratrukket anlægsudgiften

Stort renoveringsbehov: -

2.4.5 Kælderydervægge

Tabel 22 viser energisparepriser ved efterisolering af kælderydervægge. Beregningerne viser at det generelt er rentabelt at udføre vidtgående efterisolering af kælderydervægge, når udgangspunktet er en uisoleret væg af beton. Hvis kælderydervæggen er opført i letklinkerbeton er økonomien lidt dårligere. Hvis væggen som udgangspunkt er isoleret indvendig er det ikke økonomisk rentabelt at foretage efterisolering.

Tabel 22. Energisparepriser for efterisolering af typiske kælderydervægge.

Renoveringsbehov	Ingen				Moderat				Stort			
Isoleringsniveau, U-værdi	0,20	0,15	0,12	0,09	0,20	0,15	0,12	0,09	0,20	0,15	0,12	0,09
Kælderydervæg, uisoleret, letklinkerbeton; Udvendig isolering; U = 0,5	0,89	0,88	0,93	1,02	0,17	0,28	0,36	0,50	-	-	-	-
Kælderydervæg, uisoleret, grovbeton; Udvendig isolering; U = 0,9	0,40	0,42	0,47	0,52	0,10	0,14	0,20	0,25	-	-	-	-
Kælderydervæg mod jord, 50 mm indvendig isolering, letklinkerbeton; Udvendig isolering; U = 0,34	1,67	1,42	1,44	1,54	-	-	-	-	-	-	-	-

Ingen renoveringsbehov: Renovering alene for at spare energi

Moderat renoveringsbehov: Der er behov for renovering pga. fugtproblemer i kælder og kold væg. Pris for etablering af omfangsdræn og efterisolering svarende til mindste isoleringskrav er fratrasket anlægsudgiften

Stort renoveringsbehov: -

2.4.6 Vinduer

Der er regnet på økonomien i vinduesudskiftning til energimæssigt bedre vinduer i forbindelse med renovering. I Tabel 23 er der redegjort for sammenhængen mellem vinduernes U-værdier og energitilskud (= solindfald minus varmetab).

Tabel 23. Sammenhæng mellem U-værdi og energitilskud for energimæssigt bedre, nye vinduer

Energitilskud [kWh/m ² /år]	U = 1,50	U = 1,20	U = 1,00	U = 0,80
Energirude	2-lags	3-lags	3-lags	3-lags
g _g -værdi [-]	0,63	0,50	0,50	0,50
- Fast karm, 80 % glas	-37	-30	-12	6
- Oplukkeligt vindue, 70 % glas	-49	-40	-22	-4
- Dannebrogsvindue, 55 % glas	-67	-54	-36	-18

Af Tabel 24 fremgår de beregnede energisparepriser. Det ses, at det er rentabelt at udskifte typiske vinduer med termorude (faste og oplukkelige) med nye moderne lavenergivinduer i forbindelse med renovering. Ældre dannebrogsvinduer med almindelig forsatsvindue med 1-lag glas er umiddelbart ikke rentable at udskifte med nye vinduer. Ofte vil en bedre løsning i øvrigt være at renovere/overfladebehandle disse ældre og bevaringsværdige trævinduer af god kvalitet, og montere en forsatsenergirude, hvorved der kan opnås samme gode energimæssige egenskaber som udskiftning til nye lavenergivinduer.

Tabel 24. Energisparepriser ved udskiftning af tre typiske vinduer med energimæssigt med vinduer med 2- og 3-lags energirude.

Renoveringsbehov	Ingen				Moderat				Stort			
U-værdi for nyt vindue	1,50	1,20	1,00	0,80	1,50	1,20	1,00	0,80	1,50	1,20	1,00	0,80
Fast karm, termorude; Vinduet udskiftes; U = 2,9; g _g = 0,75; glasandel = 0,8	0,84	0,94	0,87	0,82	0,37	0,49	0,49	0,49	0,04	0,18	0,22	0,25
Oplukkeligt vindue, termorude; Vinduet udskiftes; U = 2,8; g _g = 0,75; glasandel = 0,7	1,49	1,66	1,55	1,47	0,99	1,20	1,15	1,12	0,64	0,88	0,88	0,88
Dannebrogsvindue, 1+1 lag glas; Vinduet udskiftes; U = 2,2; g _g = 0,75; glasandel = 0,55	2,84	2,73	2,31	2,04	1,83	1,93	1,69	1,53	1,44	1,62	1,44	1,33

Ingen renoveringsbehov = Renovering alene for at spare energi

Moderat renoveringsbehov = Pris for afslibning og ny overbehandling er fratrasket anlægsudgift

Stort renoveringsbehov = For 1+1 vinduer er pris for udskiftning af det inderste glas med energiglas fratrasket anlægsudgiften. For de andre tilfælde er prisen for et nyt forsatsvindue med ét energiglas fratrasket anlægsudgiften.

2.4.7 Fremtidssikring af isoleringsniveauet

Det er billigere at fremtidssikre isoleringsniveauet, når nu man er i gang med en renovering og efterisolering, i stedet for at efterisolere over flere omgange.

En typisk situation kunne være udvendig efterisolering af en massiv ydervægsfacade, hvor man kunne fristes til blot at udføre en normal efterisolering med ny regnskærm og 100 mm isolering, og så senere eventuelt opgradere med 200 mm isolering til et fremtidssikret lavenergiklasse 1 niveau på 300 mm isolering eller U-værdi på 0,12 W/m²K. Man kunne alternativt med det samme vælge at efterisolere med 300 mm isolering.

Efterisoleringen over to omgange vil koste mere end at fremtidssikre isoleringsniveauet med det samme, idet regnskærmen skal nedtages og genmonteres, og der vil eventuelt være ekstraudgifter til stillads, hvis ikke efterisoleringen kan kombineres med andre tiltag. Desuden vil man gå glip af en energibesparelse i perioden før opgraderingen.

Man kan regne på den økonomiske gevinst ved at fremtidssikre isoleringsniveauet ved sammenligning af nuværdien af udgifter og besparelser i de to renoveringstilfælde. Som eksempel analyseres en massiv teglstenydervæg med en U-værdi på 2 W/m²K.

1. Fremtidssikring af isoleringsniveauet:

$I_{\text{tiltag}} = 3080 \text{ kr/m}^2$, for 300 mm udvendig efterisolering med ventileret regnskærm og skærmtegl

$\Delta E_{\text{årlig}} = 169 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$

2. Efterisolering over to omgang:

Omgang 1: $I_{\text{tiltag}} = 1569 \text{ kr/m}^2$, for 100 mm udvendig efterisolering med ventileret regnskærm og skærmtegl.

$\Delta E_{\text{årlig}} = 153 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$

Omgang 2: $I_{\text{tiltag}} = 1889 \text{ kr/m}^2$, idet det antages at de sidste 200 mm isolering etableres efter 15 år og fordyres med 25 %, da regnskærmen som nævnt skal nedtages og genmonteres mv.

$\Delta E_{\text{årlig}} = 169 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$

Ved omskrivning af formlen for energispareprisen (CSE) fås følgende formel til bestemmelse af nuværdien for de to renoveringstilfælde:

$$CSE = \text{Energipris} = \frac{\frac{n}{n_t} \cdot a(n, r) \cdot I_{\text{tiltag}}}{\Delta E_{\text{årlig}}} \Rightarrow f_{\text{npv}}(n, r) \cdot \Delta E_{\text{årlig}} \cdot \text{Energipris} - \frac{n}{n_t} \cdot I_{\text{tiltag}} = NPV \text{ (nuværdien)}$$

Faktoren $f_{\text{npv}}(n, r)$ er nuværdifaktoren, som er den reciproke værdi af annuitetsfaktoren. Anlægspriser, levetider mv. er i eksemplet som for de øvrige økonomiske vurderinger i rapporten for ydervægge.

Derved kan beregnes følgende nuværdier over 30 år:

Tilfælde 1: 1735 kr/m²

Tilfælde 2: 1362 kr/m²

Det er altså 373 kr/m² billigere at fremtidssikre isoleringsniveauet frem for at efterisolere over to omgange.

2.5 Energisparepriser for udvalgte andre renoveringstiltag

Energispareprisen for udvalgte andre typiske energirenoveringstiltag beregnes for at kunne sammenligne energispareprisen for andre tiltag med den for klimaskærmen. **Disse beregninger er kun orienterende.** De andre tiltag der beregnes energisparepris for er:

- Mekanisk balanceret ventilation med luft til luft varmegenvinding
- Solvarmeanlæg til opvarmning af varmt brugsvand
- Solcelleanlæg
- Varmepumpeanlæg

De udvalgte tiltag er typisk nye komponenter i eksisterende bygninger. Tætning af klimaskærmen indgår i tiltaget mekanisk ventilation med varmegenvinding, da energibesparelsen afhænger meget af forudsætninger vedrørende klimaskærmens tæthed.

2.5.1 Mekanisk balanceret ventilation med luft-luft varmegenvinding

Mekanisk balanceret ventilation med luft til luft varmegenvinding er et tiltag nedsætter ventilationsvarmetabet betydeligt (med ca. 85 %). For at opnå dette må der ”investeres” et mindre elforbrug til lufttransport. En afgørende aspekt ved tiltaget er at infiltrationen, dvs. luftskiftet via utætheder i klimaskærmen minimeres, da det går uden om anlægget, så der ikke varmegenvindes på denne del af luftskiftet. Infiltrationen regnes oven i den mekaniske ventilation. Fortolkningsmæssigt åbner BR mulighed for at reducere luftmængden i ventilationsanlægget med infiltrationen, hvilket vil reducere ventilationstabet, men dette er ikke forudsat i beregningerne.

Der er undersøgt fire niveauer af energimæssige forbedringer i form af ventilation med varmegenvinding svarende til BR 2008 nybyg minimumskrav og passende forbedringer vedr. infiltration og SEL-værdi (elforbrug).

Det skal bemærkes at der antages en levetid for ventilationsaggregatet på ca. 20 år, mens den for kanalsystemet er væsentligt længere, måske 100 år, hvilket der regnes med. Der regnes samlet set med en levetid 60 år, idet anlægsudgiften typisk er omtrent ligeligt fordelt på aggregat og kanalsystem.

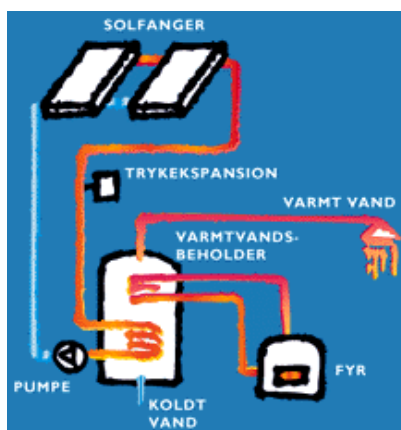
Energisparepris beregninger er vist i Tabel 25. Heraf fremgår det at niveauet for energispareprisen er cirka dagens energipris. Tiltaget har altså en neutral totaløkonomi, svarende til at investeringen er lig med energibesparelsen set over den økonomiske levetid (beregningsperioden). Det er særdeles positivt, idet tiltaget også har betydelige såkaldte ”Non Energy Benefits” i form af primært et bedre indeklima.

Tabel 25. Energisparepriser for ændret ventilation i et parcelhus i form af mekanisk balanceret ventilation med luft til luft varmegenvinding.

	Ref	BR 2008	Lavenergi 2	Lavenergi 1	Lavenergi 0	Bemærkninger
Ventilationsparametre						
Ventilationform	Naturlig	MEK VGV	MEK VGV	MEK VGV	MEK VGV	Den mekaniske ventilation antages ikke at være i drift i sommerperioden
Luftmængde, l/s/m ²	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	Pr. m ² opvarmet bruttoetageareal
Infiltration, l/s/m ²	0	0,13	0,1	0,085	0,07	
SEL, J/m ³	0	1200	1000	800	600	
Temperaturvirkningsgrad, -	0	0,85	0,85	0,85	0,85	
Gradtimer, kKh/år	90					I fyringssæsonen
Drifttimer, h/år	6000					Baseret på gradtimetallet og en gns temperaturforskelle mellem ude og inde på 20 minus 5°C i fyringssæsonen: 90.000/15 = 6000 h/år
Økonomiske parametre						
n, år	30					
n _t , år	60					Se bemærkninger ovenfor
r, % p.a.	2,5					
e, % p.a.	1,5					
a(n,r), -	0,039					
I _{tiltag} , kr/m ²		300	350	400	450	BR08 niveau svarer til 45.000 kr. for et 150 m ² hus, mens lavenergi 0 svarer til 67.500 kr.
VO _{årlig} , kr/m ² /år	3					ca. 500 kr. årligt for typisk parcelhus
E _{årlig} , kWh/m ² /år	33,0	24,7	20,5	17,9	15,4	Faktor 2,5 på el
ΔE _{årlig} , kWh/m ² /år		8,4	12,6	15,1	17,7	
CSE, kr/kWh		1,05	0,78	0,71	0,66	

2.5.2 Solvarmeanlæg til opvarmning af varmt brugsvand¹²

Solvarmeanlæg til opvarmning af varmt brugsvand leverer supplerende varme til brugsvandet. Solvarmeanlægget består af en solfanger som anbringes på taget med passende orientering og hældning. Solfangeren indeholder en frostsikret væske, som cirkulerer solvarme til en varmeveksler nederst i solvarmebeholderen. Det varme brugsvand eftervarmes i toppen af beholderen med den eksisterende supplerende energikilde. Det er som regel nødvendigt at udskifte den eksisterende varmtvandsbeholder med en ny solvarmebeholder.



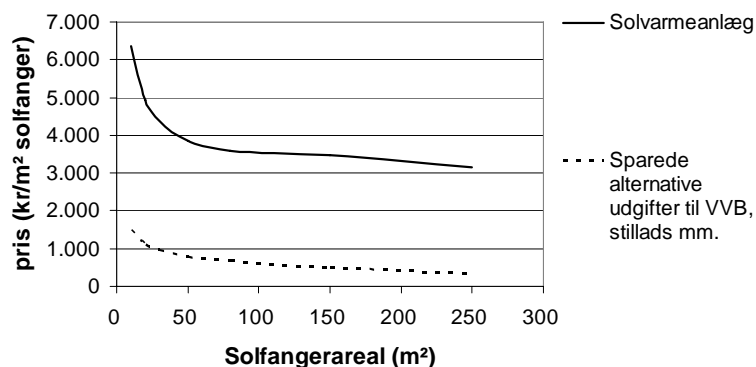
Solvarmeanlæggets økonomi er bedst jo større varmtvandsforbruget er. Dog kan små solvarmeanlæg til enfamiliehus forbrug have lige så god økonomi som større anlæg, idet de opbygges af standardkomponenter. Solvarmeanlæggets optimale størrelse skal dimensioneres i forhold til varmtvandsforbruget. Ofte regnes i boliger med et areal på 0,7 – 1 m² solfanger pr. person. Ved større anlæg noget mindre areal pr. person. Solvarmeanlægget kan ikke dimensioneres til at klare hele varmtvandsforsyningen om vinteren. Solvarmeanlægget leverer også varme til brugsvandscirkulationsledningen.

Solvarmeanlægget kan udvides til at levere et vist bidrag til rumopvarmningen forår og efterår samt sommer (hvis der er rumvarmebehov). Solvarmeanlægget kan ofte give anledning til supplerende besparelser. F.eks. hvis kedlen kan slukkes om sommeren (sparet tomgangstab) eller en varmforsyningsledning kan afbrydes.

Overslagspris for et veldimensioneret solvarmeanlæg fremgår af kurven nedenfor. Anlægsprisen fordyres væsentligt, hvis der er langt mellem solfanger og solvarmebeholder. Der kan dog være store variationer.

¹² Baseret på datablad udarbejdet af Klaus Ellehauge, Ellehauge og Kildemoes i forbindelse med EFP-projektet. "Energirenovering af større bygninger" (2007).

Overslagspris for solvarmeanlæg (inkl. installation, ekskl. moms)



Energibesparelsen af hænger af varmtvandsforbruget og kan udregnes bl.a. med Be06 eller et solvarmesimuleringsprogram. Energibesparelsen er typisk mellem 300 og 600 kWh/m² solfanger pr. år + evt. yderligere besparelser f.eks. i form af sparet tomgangstab fra kedel, som kan være af samme størrelsesorden (hvis den slukkes om sommeren). Der er ikke væsentlige driftsudgifter til et solvarmeanlæg. Solfangerpumpen har et mindre elforbrug som ofte delvis kompenseres ved besparelser på el til drift af resten af anlægget.

Energispareprisen er beregnet i Tabel 25. Denne pris ligger præcis på niveau med den gennemsnitlige marginale varmepris. Tiltaget er derfor typisk totaløkonomisk set fornuftigt. Tabel 25

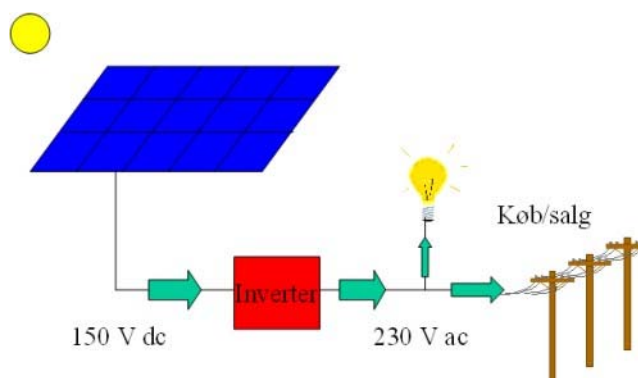
Solvarmeanlægget kan udvides til at levere et vist bidrag til rumopvarmningen forår og efterår samt sommer (hvis der er rumvarmebehov). Energispareprisen for et sådan, såkaldt kombi anlæg, er omtrent den samme som for brugsvandsanlægget.

Tabel 26. Energisparepris for solvarmeanlæg til opvarmning af varmt brugsvand. Energibesparelse og økonomi er angivet pr. m² solfanger.

Parameter	Typisk anlæg	Bemærkninger
n, år	30	
n _t , år	20	Forventet levetid på 20-25 år (samlet set)
r, % p.a.	2,5	
e, % p.a.	1,5	
a(n,r), -	0,039	
I _{tiltag} , kr/m ²	4500	Typisk pris (variation: 3750-7500 kr/m ²)
VO _{årlig} , kr/m ² /år	40	Typisk pris (variation: 10-100 kr/m ²)
E _{årlig} , kWh/m ² /år	400	Typisk energibesparelse (variation: 300-600 kWh/m ²)
CSE, kr/kWh	0,75	

2.5.3 Solcelleanlæg¹³

Solcelleanlægget producerer el til el-nettet. Solcelleanlægget består af solcellepaneler (PV) som anbringes på tag eller i facade med passende orientering og hældning. Solcellerne producerer jævnstrøm som i en konverter omdannes til 220 V vekselstrøm. Konverteren leverer elektricitet til bygningens el-installationer. Når der overproduktion af elektricitet leveres strøm til el-nettet og el-måleren løber baglæns. Overskudsstrøm sælges således til el-nettet til samme pris som der købes el (se figuren).



Den typiske årlige ydelse af et solcelleanlæg på 1 kW (10m²) er 850 kWh/år eller 85 kWh/m², mens driftsudgifterne ligger i størrelsesordenen 2-300 kr/år for 10m² eller ca. 25 kr/m² solcelle pr. år. For lidt større solcelleanlæg regnes ofte med en installeret pris på 50 kr. pr. installeret W_{peak}. For solceller (PV krystallinsk) med en modulvirkningsgrad på 10 % svarer dette til en pris på 5.000 kr./m².

Energispareprisen er beregnet i Tabel 27. Det ses, at energispareprisen er noget højere for solceller end for andre tiltag og det er derfor ikke umiddelbart et rentabelt tiltag, da energispareprisen er større end energiprisen.

¹³ Baseret på datablad udarbejdet af Klaus Ellehauge, Ellehauge og Kildemoes, i forbindelse med EFP07-projektet: "Energirenovering af større bygninger" (2007).

Tabel 27. Energisparepris for solcelleanlæg til produktion af elektricitet. Energibesparelse og økonomi er angivet pr. m² solcelleanlæg.

Parameter	Typisk anlæg	Bemærkninger
n, år	30	
n _t , år	25	Forventet levetid
r, % p.a.	2,5	
e, % p.a.	1,5	
a(n,r), -	0,039	
I _{tiltag} , kr/m ²	5000	Typisk pris pr. m ² solcelleanlæg
VO _{årlig} , kr/m ² /år	25	Typiske driftsudgifter
E _{årlig} , kWh/m ² /år	85	Typisk el-produktion. Faktor 2,5 på el.
CSE, kr/kWh	1,21	

2.5.4 Varmepumpeanlæg (jord til vand)

Et varmepumpeanlæg fungerer som et køleskab, men det er blot varmeproduktionen, der udnyttes i stedet for kulden. Et jord til vand varmepumpeanlæg, en såkaldt jordvarmepumpe, udnytter den solenergi, der lagres i det øverste jordlag, ved at omsætte varmen i jorden via en kompressor til et højere temperaturniveau, der kan benyttes til opvarmning.

Jordvarmepumper har normalt en effektfaktor (COP) på 3-4,5, dvs. de kan producere 3-4,5 gange så meget varme, som elforbruget til varmepumpen. Effektfaktoren afhænger betydeligt af varmeanlæggets driftstemperaturer, idet den er størst ved lave fremløbstemperaturer. Det vil sige, at varmepumper er velegnet i forbindelse med energirenovering og konvertering til gulvvarmeanlæg, eller når eksisterende radiatorer kan levere den nødvendige varme ved lavtemperaturdrift, som følge af et nedsat rumvarmebehov. Et jordvarmepumpeanlæg er typisk et fornuftigt alternativ som varmekilde til bygninger, som i dag er opvarmet med direkte elvarme, olie eller naturgas.

Beregninger af energispareprisen for jordvarmepumper foretages for et dårligt isoleret hus med et varmebehov på 200 kWh/m²/år, og et energirenoveret hus med lavtemperaturdrift og et varmebehov på 75 kWh/m²/år. Prisen for et jordvarmeanlæg afhænger af den nødvendige ydelse. Prisen udregnes i forhold til en situation, hvor der er behov for udskiftning/renovering af et eksisterende varmeanlæg baseret på olie eller naturgas. Det er rimeligt at antage at vedligeholdelsesomkostninger for det jordvarmeanlæg og et traditionelt olie eller naturgas baseret anlæg er omtrent ens.

Energispareprisen er beregnet i Tabel 28. Det ses, at den er relativt lav og mindre end energiprisen, således at tiltaget er rentabelt.

Tabel 28. Energisparepris for jordvarmepumpe sammenlignet med traditionelt varmeanlæg baseret på olie eller naturgas i forbindelse med behov for udskiftning/renovering af det eksisterende anlæg. Energibesparelse og økonomi er angivet pr. m² opvarmet etageareal.

Parameter	Varmebehov [kWh/m ² /år]		Bemærkninger
	200	75	
n, år	30	30	
n _t , år	15	15	Forventet levetid 15-20 år, kompressor dog i gns. 10-20 år
r, % p.a.	2,5	2,5	
e, % p.a.	1,5	1,5	
a(n,r), -	0,039	0,039	
ΔI _{tiltag} , kr/m ²	500	375	Nominel ydelse på hhv. 8 kW og 4 kW. ¹⁴
ΔVO _{årlig} , kr/m ² /år	0	0	Samme vedl. udgifter som reference
Effekttfaktor	3,5	4,5	Årseffektivitet
E _{årlig} Varmepumpe, kWh/m ² /år	57,1	16,7	Elforbrug. Faktor 2,5 på el.
E _{årlig} Traditionelt, kWh/m ² /år	200,0	75,0	Varmeforbrug. Faktor 1 på varme.
ΔE _{årlig} , kWh/m ² /år	57,1	33,3	
CSE, kr/kWh	0,27	0,35	

¹⁴ Pris på jordvarmepumpe med ydelse på 8 kW er baseret på oplysninger fra Teknologisk Institut: <http://www.teknologisk.dk/varmepumpeinfo/18578>. Udgifterne er beregnet som differensen mellem varmepumpeinstallationen og de udgifter, der må forventes, hvis det eksisterende fyr skal renoveres/udskiftes. 4 kW jordvarmepumpen antages at være 25 % billigere.

2.6 Klimaskærmstiltag vs. andre tiltag

I Tabel 29 er vist en oversigt over energisparepriser for udvalgte klimaskærmstiltag og andre energibesparende tiltag.

Det fremgår, at isoleringstiltag er billigst, mens bedre vinduer og ventilation med varmegenvinding har en energisparepris omkring energiprisen, dvs. de er totaløkonomisk rentable. Etablering af et varmepumpeanlæg i forbindelse med udskiftning af individuelle varmforsyningsanlæg (olie/gas baseret) er et billigt tiltag, som dog ikke er relevant for de mange fjernvarmeopvarmede bygninger. Solvarme er netop rentabelt, mens solceller er et godt stykke fra at være rentabelt.

Der er en række bløde værdier forbundet med energirenovering af klimaskærmen og til dels mekanisk ventilation med varmegenvinding i form af forbedret komfort, indeklima og sundhed, produktivitet samt en fremtidssikringsværdi vedrørende energiforsyning og økonomi. Energibesparende klimaskærmstiltag er derfor samlet set umiddelbart de mest attraktive tiltag.

Tabel 29. Energisparepriser for typiske klimaskærmstiltag i forbindelse med behov for renovering samt andre tiltag i eksisterende bygninger.

Energisparetiltag	Energisparepris [kr/kWh]
Udvendig isolering af uisolerede ydervægge til $U = 0,15$ (BR10)	$\approx 0,15$
Udvendig facadeisolering af isoleret hulmur til $U = 0,15$ (BR10)	0,58
Efterisolering af isoleret gitterspær konstruktion til $U = 0,12$ (BR10)	0,34
Vinduesudskiftning til $U = 0,80$ ¹	0,88
Mekanisk ventilation med luft til luft varmegenvinding ²	0,66
Solvarmeanlæg til opvarmning af VBV	0,75
Solcelleanlæg	1,21
Varmepumpeanlæg (jord-vand) ³	0,35

¹ Udskiftning af oplukkeligt vindue med termorude til lavenergivindue med 3-lags energirude

² Lufttæt bygning og anlæg med effektiv modstrømsveksler, lavenergiventilatorer og optimeret kanalsystem.

³ Efterisolering af bygning ved behov for renovering af eksisterende olie/gas varmeanlæg

3 Vurdering af fleksible energikrav til større renoveringer

Der er generelt lagt op til at kommende skærpede energikrav til renovering baseres på komponentkrav, da de er nemme at forstå og anvende. Men komponentkrav vil ikke nødvendigvis resultere i optimale samlede løsninger i forbindelse med samlede renoveringstiltag/større renoveringer. Det er derfor umiddelbart oplagt at give mulighed for fleksible energi- eller varmetabsrammekrav i forbindelse med større renoveringer. Fleksible krav vil give arkitektonisk frihed og frihed til at spare energi, dér hvor det er billigst, som vil stimulere til økonomisk optimale og helhedsorienterede større energirenoveringer.

3.1 Metode

Der regnes på økonomien ud fra følgende to metoder:

1. Opfyldelse af komponentkrav
2. Økonomisk optimale valg (der giver samme energibesparelse som metode 1)

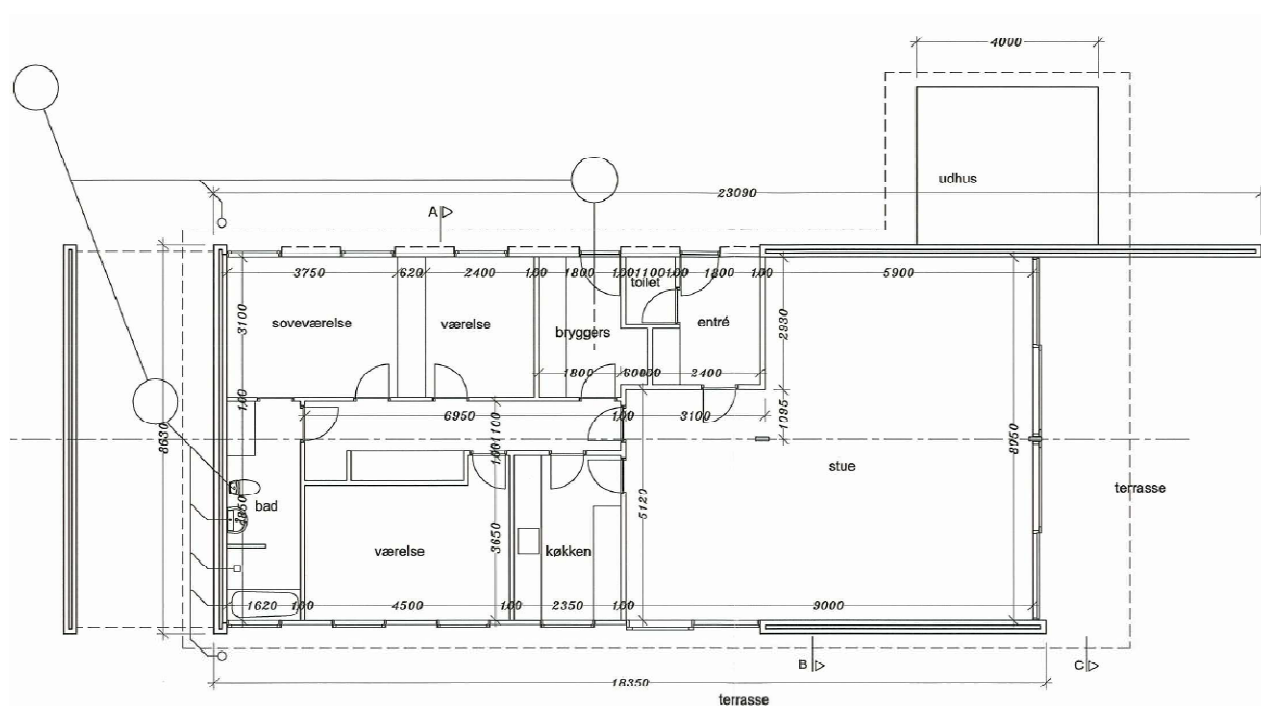
Metode 1 udgør en reference. Referencen sammenlignes herefter med en samlet løsning baseret på en optimal kombination af del-løsninger fra "komponentkataloget" (kapitel 2), som samlet set giver samme energibesparelse som referencen. Den optimale/billigste løsning er en kombination af energirenoveringstiltag for enkelte bygningsdele med samme energisparepris.

Det ses bort fra variation i vinduers energimæssige egenskaber, hvor der er begrænsede valgmuligheder, så der ikke på samme måde kan varieres, som det er tilfældet med isoleringstykkelsen. Det samme gælder installationer. Derfor er der alene tale om en optimering af isoleringsniveauet af den "mørke" del af klimaskærmen.

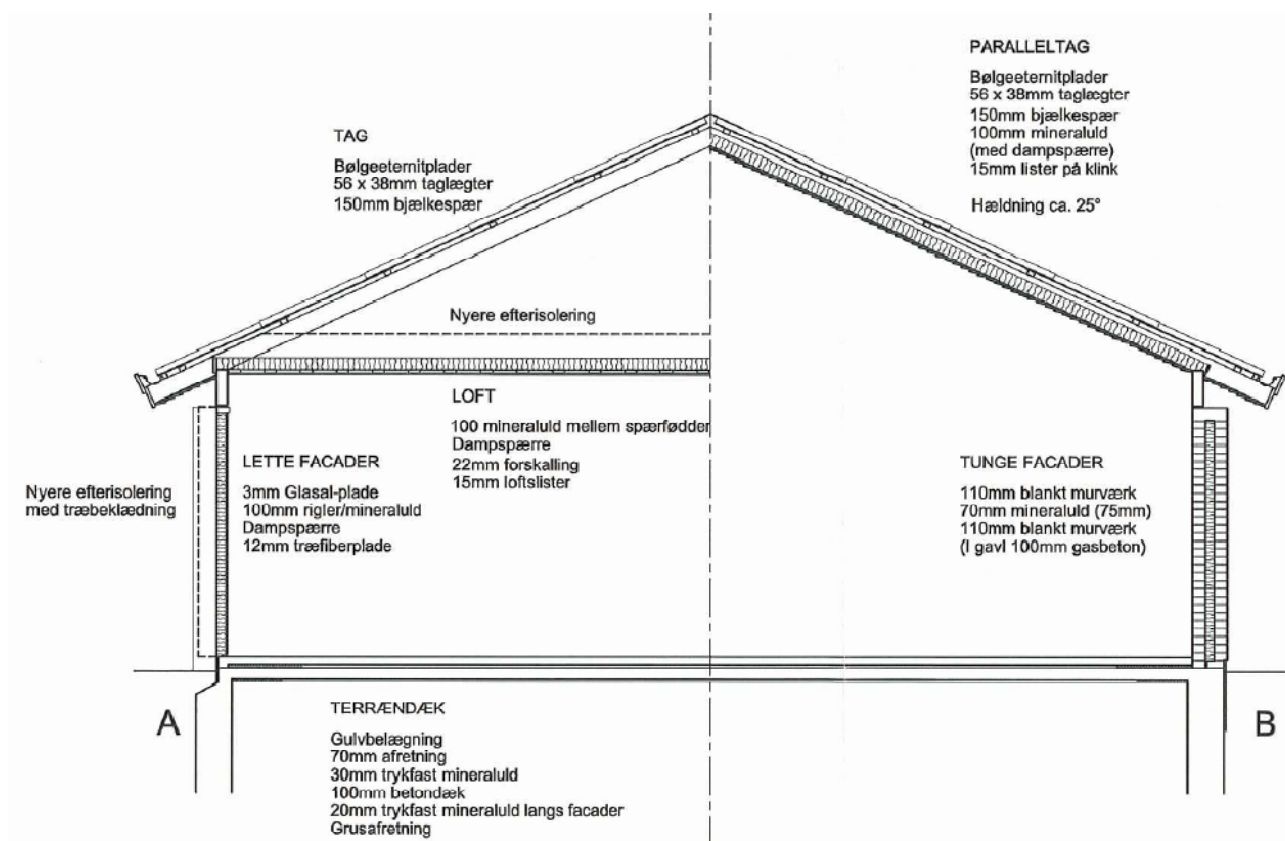
Der er som eksempel regnet på et typisk parcelhus fra 1960/70'erne, som totalrenoveres og energiforbedres til lavenergiklasse 2, der svarer til det niveau, der er lagt op til skal gælde for nye bygninger fra 2010. Det er umiddelbart rimeligt at kræve samme niveau for eksisterende bygninger, der gennemgår renovering af enkeltkomponenter eller større renovering.

3.2 Beskrivelse af eksempelhus

Der tages udgangspunkt i et typisk parcelhus fra 1972. Huset er et længehus i ét plan og har et opvarmet etageareal på 155 m². Huset har både lette og tunge ydervægspartier samt relativt store vinduespartier i stuen. Husets tagkonstruktion er bjælkespær (loft til kip) over den ene halvdel af huset (over stuen) og gitterspær med normalt plant loft i den anden halvdel. I det følgende antages hele taget dog at være en gitterspærkonstruktion. Plan og tværsnit af husets eksisterende forhold, fremgår af Figur 8 og Figur 9.



Figur 8. Plan – eksisterende forhold.



Figur 9. Tværsnit – eksisterende forhold.

Husets klimaskærmskonstruktioner er beskrevet i Tabel 30. Det bemærkes at terrændækket er en sandwich konstruktion med en beskeden isolering under det øverste afretningslag. De angivne isoleringstykkelser (og U-værdier) kan afvige lidt fra tegningerne, da der er behov for at tage udgangspunkt i ”komponentkataloget” fra kapitel 2.

Tabel 30. Varmetekniske og geometriske data for husets klimaskærmskonstruktioner.

Bygningsdel	U-værdi / Ψ -værdi [W/m ² K]	Areal/længde [m ²]
Loft, 100 mm isolering	0,36	155
Hulmur, isoleret, 75 mm	0,50	57,8
Træskeletvæg, 100 mm isolering	0,46	43,1
Terrændæk, 50 mm isolering	0,33	143,1
Fundament, beton, uisolert	0,63 W/mK	53,9 m

3.3 Klimaskærmsrenoveringstiltag

Der er taget udgangspunkt i følgende renoveringsløsninger under forudsætning af de eksisterende konstruktioner har behov for renovering:

- Loft, gitterspærkonstruktion – efterisolering i lofttrum, udskiftning af spær
- Hulmur – udvendig efterisolering, ventileret løsning
- Træskeletvæg – udvendig efterisolering, ventileret løsning
- Terrændæk – gulvet hugges op og der graves ud til etablering af ny højisolert konstruktion
- Fundament – udvendig efterisolering til underkant af fundament

Forudsætningen om at den oprindelige konstruktion har behov for renovering betyder at investeringen kun er den del af anlægsprisen, der alene skyldes energiforbedringen og ikke blot opretholdelse af klimaskærmens bygningsfysiske funktioner.

Der forudsættes følgende om konstruktionernes behov for renovering - den del af renoveringen, der foretages for at opretholde klimaskærmens funktioner:

- Gitterspær – Hele konstruktionen står til udskiftning.
- Hulmur – på grund af kuldebroproblemer og træk er der behov for efterisolering, svarende til 10 cm isolering.
- Træskeletvæg – på grund af kuldebroproblemer og træk er der behov for efterisolering, svarende til 10 cm isolering.
- Terrændæk – på grund af sprængte varmfordelingsrør i terrændækket graves hele konstruktionen op og reetableres.
- Fundament – på grund af kuldebroproblemer og træk efterisoleres fundamentet med 10 cm isolering 45 cm under terræn.

I nedenstående Tabel 31 -

Tabel 35 er for hver bygningsdel vist de beregnede samhørende værdier for varmetab, investering og energisparepris for de enkelte isoleringsniveauer og den oprindelige konstruktion (reference).

Tabel 31. Beregningsresultater for efterisolering af loft.

Isoleringsniveau	U-værdi [W/m ² K]	Isolerings- tykkelse [mm]	Varmetab [kWh/år]	Investering [kr./m ²]	Investering [kr.]	Energi- sparepris [kr./kWh]
Reference	0,36	100	5.022	0	0	0
BR08	0,15	240	2.093	154	23.870	0,16
BR10	0,12	290	1.674	209	32.395	0,19
BR15	0,09	375	1.256	303	46.965	0,24
BR20	0,07	475	977	413	64.015	0,31

Tabel 32. Beregningsresultater for efterisolering af tunge ydervægge. Isoleringstykkelse ved efterisolering (BR08 niveau mv.) er kun efterisoleringstykkelsen.

Isoleringsniveau	U-værdi [W/m ² K]	Isolerings- tykkelse [mm]	Varmetab [kWh/år]	Investering [kr./m ²]	Investering [kr.]	Energi- sparepris [kr./kWh]
Reference	0,50	75	2.601	0	0	0
BR08	0,20	150	1.040	367	21.213	0,27
BR10	0,15	225	780	926	53.523	0,58
BR15	0,12	300	624	1489	86.064	0,85
BR20	0,09	455	468	2657	153.575	1,40

Tabel 33. Beregningsresultater for efterisolering af lette ydervægge. Isoleringstykkelserne er den samlede isoleringstykkelse.

Isoleringsniveau	U-værdi [W/m ² K]	Isolerings- tykkelse [mm]	Varmetab [kWh/år]	Investering [kr./m ²]	Investering [kr.]	Energi- sparepris [kr./kWh]
Reference	0,46	100	1.784	0	0	0
BR08	0,20	200	776	756	32.584	0,63
BR10	0,15	275	582	1322	56.978	0,92
BR15	0,12	350	465	1889	81.416	1,20
BR20	0,09	455	349	2682	115.594	1,56

Tabel 34. Beregningsresultater for efterisolering af terrændæk

Isoleringsniveau	U-værdi [W/m ² K]	Isolerings- tykkelse [mm]	Varmetab [kWh/år]	Investering [kr./m ²]	Investering [kr.]	Energi- sparepris [kr./kWh]
Reference	0,33	50	4.250	0	0	0
BR08	0,15	110	2.511	333	47.652	0,57
BR10	0,12	215	2.009	731	104.606	1,07
BR15	0,09	325	1.507	1148	164.279	1,47
BR20	0,07	450	1.172	1622	232.108	1,92

Tabel 35. Beregningsresultater for efterisolering af betonfundament

Isoleringsniveau	Ψ -værdi [W/mK]	Isolerings- tykkelse [mm]	Varmetab [kWh/år]	Investering [kr./m]	Investering [kr.]	Energi- sparepris [kr./kWh]
Reference	0,57	0	3.595	0	0	0
BR08	0,26	150	1.640	415	22.369	0,15

BR20 isoleringsniveauet antages at udgøre et konstruktivt mætningspunkt, svarende til at yderligere isolering antages at være byggeteknisk, arkitektonisk og økonomisk uhensigtsmæssigt.

3.4 Opfyldelse af komponentkrav

I Tabel 36 er vist resultater for energirenovering af eksempelhuset ved opfyldelse af komponentkrav på 2010 niveau.

Tabel 36. Udgifter til energitiltag ved opfyldelse af komponentkrav (2010 isoleringsniveau)

Beskrivelse	U-værdi [W/m ² K]	Varme- besparelse [kWh/år]	Investering [kr./m ²]	Investering [kr.]	Energi- sparepris [kr./kWh]
Loft	0,12	3.348	209	32.395	0,19
Ydervæg, tunge facader	0,15	1.821	926	53.523	0,58
Ydervæg, lette facader	0,15	1.202	1.322	56.978	0,92
Terrændæk	0,12	2.705	731	104.606	1,07
Fundament	0,26 W/mK	1.955	415 kr./m	22.369	0,15
I alt		11.031		269.871	

Det samlede transmissionstab for klimaskærmen (ekskl. vinduer og døre) udgør 17.252 kWh/år. Energirenoveringen til 2010 isoleringsniveau reducerer varmetabet til 6.221 kWh/år, svarende til en energibesparelse på 11.031 kWh/år. Udgiften til energitiltag er ca. 270.000 kr. Det ses, at nogle tiltag ikke umiddelbart er rentable, da energispareprisen er større end den nuværende energipris (0,75 kr/kWh).

3.5 Økonomisk optimale valg

Der sammenlignes med en situation hvor samme energibesparelse eller varmetab, som opnået ved opfyldelse af komponentkrav, realiseres med økonomisk optimale valg af efterisoleringsniveauer.

Den optimale løsning er en kombination af energirenoveringstiltag for de enkelte klimaskærmskonstruktioner med samme energisparepris, hvor man har drevet de enkelte tiltag lige langt og dermed optimalt.

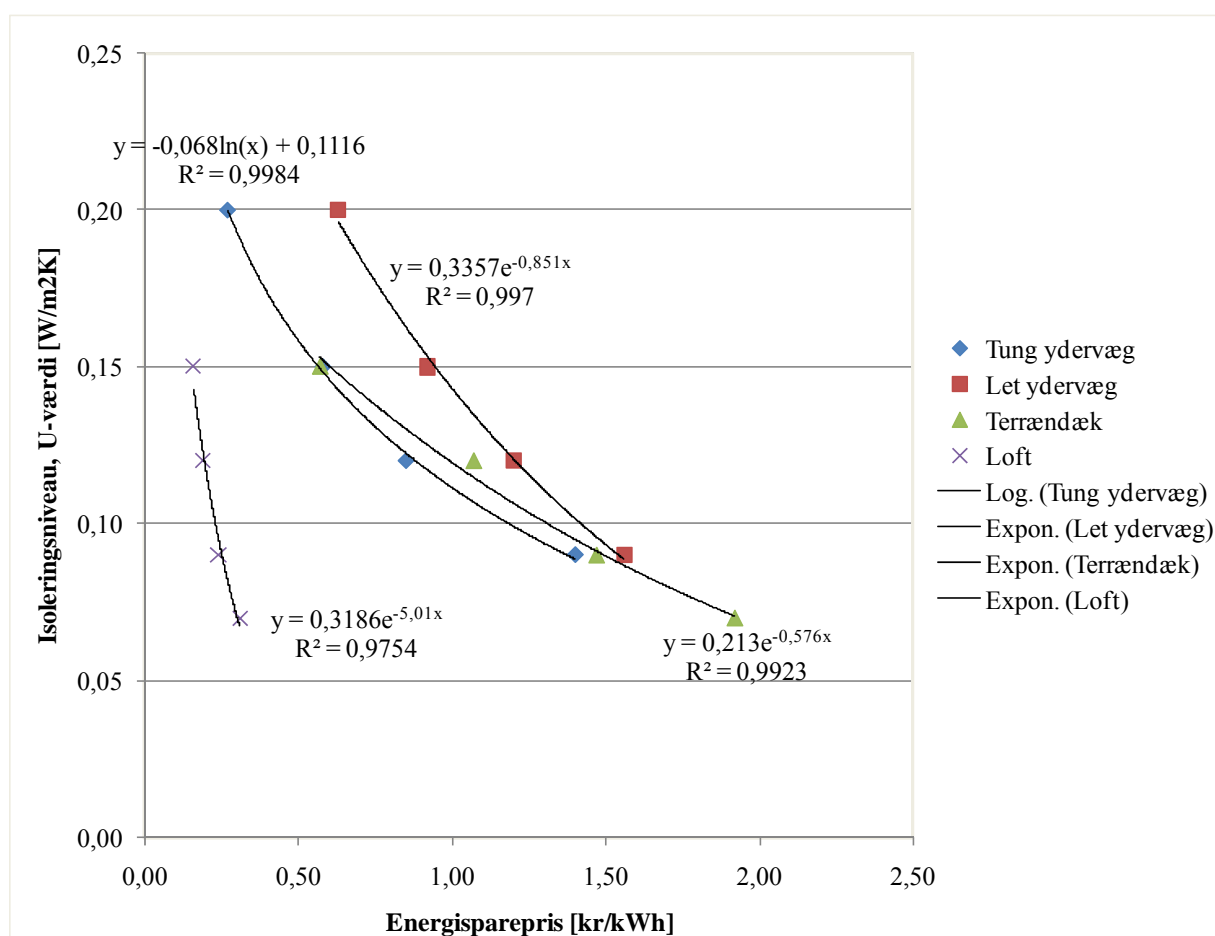
Den optimale løsning findes ud fra analyse af sammenhængen mellem U-værdi og energisparepris, hvorved der kan findes funktionsudtryk for U-værdien som funktion af energispareprisen for de enkelte klimaskærmskonstruktioner. Ved at udtrykke transmissionstab fra de enkelte konstruktioner baseret på disse funktionsudtryk, hvor

energispareprisen er variable/ubekendt, og sætte summen lig med det samlede transmissionstab fundet ovenfor (6221 kWh/år), kan man bestemme den energisparepris, der tilfredsstiller ligningen.

$$\text{Samlet transmissionstab} = \sum U \cdot A \cdot G \cdot b$$

Hvor U er U -værdien [$\text{W/m}^2\text{K}$], A er arealet [m^2], G er gradtimetallet [kKh/år] og b er temperaturfaktoren [-].

Funktionsudtryk for U -værdier fremgår af Figur 10. Det ses, at determinationskoefficienten (R^2 -værdien) for dataene er minimum 97,5 %, hvilket viser at sammenhængen mellem punkterne og tendenslinie er stor.



Figur 10. U -værdi som funktion af energisparepris for ydervæg, terrændæk og loft.

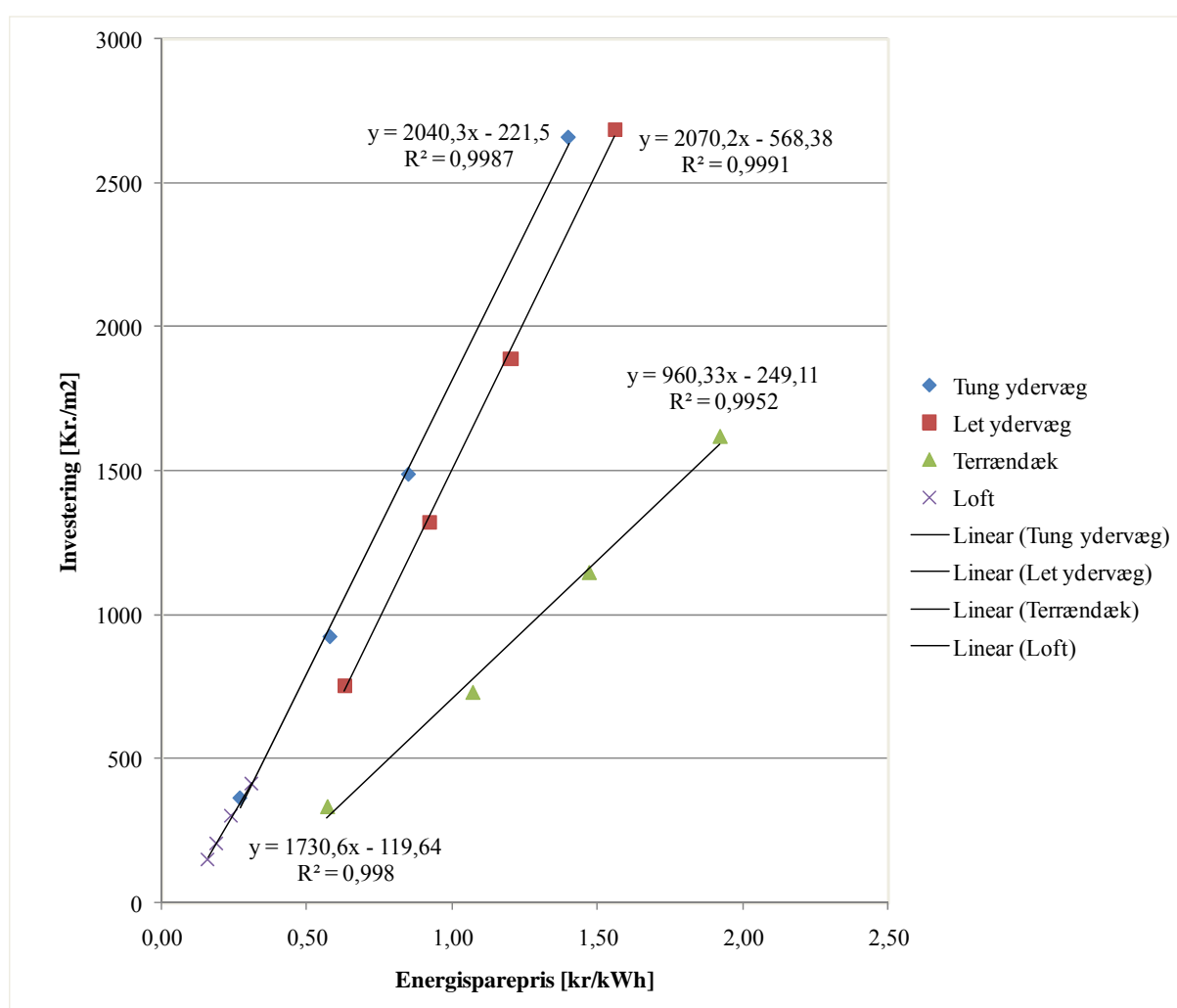
Ved at indsætte i ligningen ovenfor fås følgende udtryk til bestemmelse af energispareprisen svarende til optimalt isoleringsniveau:

$$6221 = 0,3186 \cdot e^{-5,01x} \cdot 155 \cdot 90 \cdot 1 + (-0,068 \cdot \ln x + 0,116) \cdot 57,8 \cdot 90 \cdot 1 \\ + (0,3357 \cdot e^{-0,851x}) \cdot 43,1 \cdot 90 \cdot 1 + (0,213 \cdot e^{-0,576x}) \cdot 143,1 \cdot 90 \cdot 1 \\ + 1640$$

Løsningen er: $x = 0,41$ kr/kWh

En energisparepris på 0,41 kr/kWh svarer til en U-værdi for loftkonstruktionen på 0,04 W/m²K. Da BR 2020 niveau (0,07 W/m²K) antages at være et konstruktivt mætningspunkt, så anvendes en U-værdi på 0,07 W/m²K. De øvrige konstruktioner når ikke deres mætningspunkt for denne energisparepris. Den korregerede energisparepris er herefter: $x = 0,55$ kr/kWh.

Investeringen i energitiltag kan også udtrykkes som funktion af energispareprisen (se Figur 11), hvorved investeringen kan bestemmes. Det ses, at der er en tydelig lineær sammenhæng mellem investering og energisparepris. R²-værdien indikerer at sammenhængen er særdeles god.



Figur 11. Investering som funktion af energisparepris for ydervæg, terrændæk og loft.

Tabel 37. Udgifter til energitiltag ved optimale valg af efterisoleringsniveau, der giver samme energibesparelse som opfyldelse af komponentkrav (2010 isoleringsniveau)

Beskrivelse	U-værdi [W/m ² K]	Varme- besparelse [kWh/år]	Investering [kr./m ²]	Investering [kr.]	Energi- sparepris [kr./kWh]
Loft	0,07	4.046	413	64.015	0,31
Ydervæg, tunge facader	0,15	1.809	901	52.105	0,55
Ydervæg, lette facader	0,21	969	571	24.612	0,55
Terrændæk	0,16	2.252	279	39.990	0,55
Fundament	0,26 W/mK	1.955	415 kr./m	22.369	0,15
I alt		11.031		203.091	

Det ses af Tabel 37, at udgiften til energitiltag er ca. 200.000 kr., når der efterisoleres optimalt, baseret på en varmetabsramme, dvs. så der opnås samme varmetab/-besparelse som ved opfyldelse af komponentkrav. Udgiften til energitiltag var 270.000 kr. ved opfyldelse af komponentkrav, så de optimale valg af efterisoleringsniveau, resulterer altså i dette eksempel en besparelse på 70.000 kr. Det fremgår, at energispareprisen er mindre end den nuværende energipris (0,75 kr/kWh) for alle energisparetiltag, svarende til at alle enkelttiltag og den samlede energirenoveringsløsning er rentabel.

Eksemplet illustrerer, at det kan være en god ide at give frihed til opfyldelse af energikrav i forbindelse med større renoveringer på basis af en energi-/varmetabsramme i stedet for komponentkrav. Det skal bemærkes, at eksemplet ikke kan benyttes til at konkludere at komponentkrav på det niveau, der er skitseret i rapporten og økonomisk efterprøvet, generelt er økonomisk ufornuftige.

Det kunne være positivt, at give mulighed for ramme-beregninger ved større renoveringer af alle bygningstyper for at stimulere til økonomisk optimale løsninger og synliggørelse af bygningens energimæssige ydeevne før og især efter renoveringen. Der er anvist en metode til hvordan optimale løsninger for klimaskærmen ekskl. vinduer kan bestemmes ved at regne varmetab på årsbasis og anvende en simpel sammenhæng mellem ændring i transmissionstab og ændring i varmebehov/-forbrug. Metoden kræver ikke umiddelbart at hele klimaskærmen renoveres.

Et program som f.eks. Be06 kan efterfølgende benyttes til at bestemme og verificere den samlede energibesparelse af de samlede energirenoveringstiltag ved for den aktuelle bygning at indregne den energimæssige dynamik mht. varmekapacitet, varmetilskud, fyringsvirkningsgrad mv., men det kræver naturligvis at der opbygges en samlet bygningsmodel for den aktuelle eksisterende bygning.

4 Forslag til skærpede energikrav til klimaskærmen

Bygningsreglementet stiller krav om at klimaskærmen varmeisolering som udgangspunkt opgraderes til nybyg niveau i forbindelse med større renoveringer. Større renoveringer defineres som byggearbejder, der berører mere end 25 % af klimaskærmen eller koster mere end 25 % af seneste offentlige ejendomsværdi med fradrag af grundværdien. Kravet (25 % reglen) gælder ikke enfamiliehuse. Herudover kræves for alle eksisterende bygninger, at der foretages energimæssig opgradering ved udskiftning af tagdækning, regnskærm og vinduer. Det gælder generelt, at tiltagene hver for sig skal være rentable. Hvis tiltag svarende til gældende krav ikke er rentable, skal eventuelt relevante mindre omfattende energimæssige forbedringer gennemføres. Kommunalbestyrelsen kan dog dispensere fra reglerne, såfremt arkitektoniske hensyn eller byggeteknisk forhold kan begrunde dette.

På denne baggrund og analyserne i rapporten, fremsættes nedenfor forslag og anbefalinger til nye skærpede energikrav til klimaskærmen i forbindelse med kommende revisioner af bygningsreglementets energikrav.

4.1 Forslag til energikrav til klimaskærmen i BR 2010, BR 2015 og BR 2020

Grundprincippet i fremtidige energikrav til eksisterende bygningers klimaskærm i forbindelse med ombygning og renovering bør være at de skal opfylde samme energikrav som til nybyggeri.

Beregninger i rapporten viser at skærpelser af tilbygninger og renoveringers komponentkrav med ca. 25 % løbende i 2010 og 2015 og 2020, svarer fint til nybyggeri og de skitserede 25 % reduktion i 2010, 2015 og 2020 i forhold til BR 2008. Det foreslås derfor at energikravene som udgangspunkt skærpes, som det fremgår af Tabel 38.

Tabel 38. Passende krav til varmeisolering af bygningsdele ved tilbygning og renovering i forbindelse med skærper af bygningsreglementet i 2010, 2015 og 2020.

Bygningsdel	BR08	BR10	BR15	BR20
Ydervægge, U-værdi [$\text{W/m}^2\text{K}$]	0,20	0,15	0,12	0,09
Terrændæk, U-værdi [$\text{W/m}^2\text{K}$]	0,12	0,09	0,07	0,05
Loft- og tagkonstruktioner, U-værdi [$\text{W/m}^2\text{K}$]	0,15	0,12	0,09	0,07
Fundamenter, Linietaf [W/mK]	0,12	0,09	0,07	0,05
Vinduessamlinger, Linietaf [W/mK]	0,03	0,02	0,02	0,02
Vinduer, Energitilskud [$\text{kWh/m}^2/\text{år}$]	-	15		

Ovenfor skelnes ikke mellem terrændæk og fundamenter med eller uden gulvvarme. Forslaget tager udgangspunkt i det nugældende krav ved gulvvarme, da det vil være fornuftigt at sikre en god varmeisolering, så man på et senere tidspunkt kan beslutte at etablere gulvvarme uden at det medfører et unødigt stort varmetab.

Kravet til fundamenteres linietaf i Tabel 38 kan typisk ikke opfyldes ved renovering, jf. beregninger i rapporten, og linietafet er mere eller mindre uafhængigt af isoleringsniveauet, når blot der etableres et isoleringsniveau i de tilstødende bygningsdele, der svarer til nybygningsniveau. Der foreslås derfor følgende krav til fundamenteres linietaf:

Ved udvendig efterisolering af ydervægge:

Betonfundament: Linietaf mindre end 0,25 W/mK eller mindst 150 mm isolering
 Letklinkerfundament: Linietaf mindre end 0,20 W/mK eller mindst 150 mm isolering.

Ved udvendig efterisolering af ydervægge og samtidig etablering af et nyt terrændæk:

Betonfundament: Linietaf mindre end 0,25 W/mK eller mindst 150 mm isolering
 Letklinkerfundament: Linietaf mindre end 0,10 W/mK eller mindst 150 mm isolering.

Disse krav er ambitiøse og simple at opfylde, samt stimulerende for udvikling af lavenergirenoveringsløsninger. De indgår naturligt i energi-/varmetabsrammer i forbindelse med større renovering/totalrenoveringer.

¹⁵ Der foreligger forslag om at krav til vinduer baseres på krav til energitilskuddet (dvs. solindfald minus varmetab) for et referencevindue. Jf. rapporten "Analyse af energikrav til vinduer og energimærkningsordning og BR 2010, 2015 og 2020" [11].

Konklusioner på økonomiske analyser/vurderinger

De økonomiske vurderinger af energikrav til klimaskærmen ved tilbygning og renovering viser at der generelt er fornuftig økonomi i de relativt vidtgående energibesparelser, der lægges op til og som er skrappe end nuværende minimumskrav (se kolonne BR08 i Tabel 38), hvis de foretages i forbindelse med almindelig udskiftning og vedligeholdelse af bygningsdele. Dette gælder især bygninger opført før 1979.

Der kan konkluderes følgende:

- Lavenergiklasse 2 krav er OK
- Lavenergiklasse 1 krav er OK for højere energipriser
- Vurdering: **OK at indføre lavenergiklasse 2 krav i BR 2010 til energirenovering - og lavenergiklasse 1 krav ved kommende revisioner** eller i BR 2010 pga. af forventninger om højere energipriser

Højere energipriser i form af en fordobling over kort tid, hvilket bestemt ikke er urealistisk, vil overordnet set gøre det rentabelt at efterisolere til lavenergiklasse 1 niveau i forbindelse med renovering. Energirenovering til lavenergiklasse 1 er derfor at betragte som en energimæssig fremtidssikring af bygningen, så man ikke risikerer at den efter kort tid er energimæssigt forældet. Risikoen ved merinvesteringen i klasse 1 er typisk relativt lille i forhold til potentielle ekstraudgifter ved en ikke-optimal energimæssig ydeevne, hvis energiprisen fordobles. Dette taler umiddelbart for at eventuelt forcere et skrappe krav end klasse 2 i 2010.

Forudsætningerne for at gennemføre disse energikrav til eksisterende bygninger må naturligvis være at de som påvist er økonomisk acceptable. Dernæst må der findes nødvendige energirenoveringsløsninger, som er bygningsfysisk og arkitektonisk acceptable. Det vurderes, at eksisterende løsninger til udvendig efterisolering i de fleste tilfælde, eventuelt med en smule tilpasning, kan benyttes til energirenovering til lavenergiklasse 2 niveau eller bedre, og sikre en god bygningsfysik og arkitektur. Fredede bygninger og bygninger med bevaringsværdige facader er en særlig udfordring, men energiforbruget i disse bygninger kan dog reduceres markant ved primært omhyggeligt udført indvendig isolering, forbedring af lufttæthed og vinduer samt etablering af ventilation med varmegenvinding.

En ny SBI-anvisning 221: Efterisolering af etageboliger [12], redegør for de grundlæggende principper for efterisolering og de bygningsfysiske krav til enkelte bygningsdele i klimaskærmen. Den viser bl.a. eksempler på indvendige isoleringsløsninger med traditionelle isoleringsmaterialer. Hvis alle bygninger skal energirenoveres til lavenerginiveau, er der et behov for udvikling af billige, fugtsikre og højisolerende isoleringsmaterialer/-systemer til indvendig efterisolering, der minimerer pladsforbruget.

Komponentkrav

Der forslås en udvidelse af ”listen” med komponentkrav, dvs. de komponenter man i dag stiller isoleringsmæssige minimumskrav til i forbindelse med renovering. De eksisterende og forslag til nye krav er følgende:

- Udskiftning af ydervægges regnskærm (**eksisterende krav**)
- Tagudskiftning (**eksisterende krav**)

- Facadevis vinduesudskiftning og udskiftning af tagvinduer, ovenlys og vinduer med forsatsrammer. **(eksisterende krav)**
- Konvertering fra radiator opvarmning til gulvvarmeanlæg **(forslag til nyt krav)**
- Udskiftning af terrændæk konstruktioner pga. vandskade o.lign. **(forslag til nyt krav)**
- ”Udskiftning af ydervægges regnskærm” udvides til også at inkludere efterisolering af fundamenter **(forslag til nyt krav)**
- Udskiftning af varmedistributionsanlæg, herunder radiatorer **(forslag til nyt krav)**

”Pakkeløsninger”

Pakkeløsninger skal i denne sammenhæng forstås som efterisolering af flere klimaskærmskomponenter på én gang i forbindelse med behov for renovering af én komponent.

Bygninger som f.eks. trænger til nye vinduer, men som umiddelbart ikke har behov for en facaderenovering, vil det ofte være fornuftigt at efterisolere samtidig med vinduesudskiftningen, så der kan udføres gode vinduestilslutninger opnås, besparelser på stilladsudgifter mv. Håndtering af vinduestilslutninger er typisk et integreret element i de udvendige efterisoleringssystemløsninger.

Udvendig facadeefterisolering indvirker på tagkonstruktionen (tagudhænget/-foden), så der er her en kobling til tagudskiftning. Behov for udskiftning af vinduer, regnskærm og tag, vil hver især ofte betyde at det vil være hensigtsmæssigt at energirenovere de andre to bygningsdele, da de alle mere eller mindre indvirker på hinanden og dermed mulighederne for at opnå vidtgående energibesparelser med en fornuftig økonomi og arkitektur.

Der foreslås krav om følgende ”pakkeløsninger”:

- Efterisolering af ydervægge ved vinduesudskiftning (f.eks. massive ydervægge opført efter BR72 eller tidligere)
- Energimæssig forbedring af vinduer ved udskiftning af ydervægges regnskærm/efterisolering af ydervægge
- Energikonsulenten / Den byggesagkyndige forpligtes til at fremsætte forslag til integreret energirenovering af klimaskærmen (ydervægge, fundamenter, vinduer og tag) ved tagudskiftning, når der er konstateret en restlevetid på mindre end 5 år.

De økonomiske beregninger i rapporten viser, at det næsten altid er rentabelt at efterisolere massive ydervægge og andre uisolerede ydervægge til et isoleringsniveau på $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ (BR 2010) eller mindre ved nuværende energipriser, også selvom det ikke sker i forbindelse med behov for renovering (se Tabel 18). Derfor er det også rimeligt, at stille et generelt krav om efterisolering af de dårligst isolerede ydervægge i bygningsmassen i forbindelse med vinduesudskiftning.

Renovering af installationerne kan udføres mere uafhængigt af klimaskærmen, og som en pakkeløsning på samme måde som klimaskærmen. Hvis der er tale om indvendig efterisolering, er der dog typisk et stort behov for konkret at se denne i sammenhæng med renovering af installationerne. Under alle omstændigheder er det en god idé at efterisolere klimaskærmen før tiltag på varmeinstallationerne, da efterisoleringen nedsætter varmebehovet

og dermed installationernes kapacitet/størrelse og giver besparelser på driften i form af lavtemperaturdrift mv.

4.2 Forslag til supplerende energikrav

De konkrete skærpede energikrav til klimaskærmens transmissionstab foreslås suppleret med følgende ændringer og nye energikrav i bygningsreglementet mv., hvoraf nogle kun indirekte er relateret til klimaskærmen:

Fjernelse af rentabilitetskriteriet

Det anbefales at fjerne bygningsreglementets rentabilitetskriterium, der gælder både i forbindelse større renoveringer og enkelttiltag. De primære argumenter er følgende:

- Det er uklart hvordan rentabiliteten beregnes
- Der er betydelige muligheder for omgåelse af reglerne
- De skærpede energikrav til nye bygninger er ikke koblet op på rentabilitetsberegninger, så hvorfor ombygning og renovering
- Konkrete krav i forbindelse med renovering er væsentligt enklere at forstå og efterleve

Det anbefales at rentabilitetskriteriet erstattes af krav, der som udgangspunkt skal opfyldes, men dog med mulighed for dispensation, hvis det kan dokumenteres at konkrete komponentkrav er forbundet med en dårlig totaløkonomi for den givne bygning, der skal renoveres.

Der kan eventuelt suppleres med en kontrolordning, hvor man kan anmode om en kontrol af bygningens isoleringsniveau med henblik på at fastlægge et grundlag for at give dispensation.

Det er af samfundsmæssig stor betydning, at man i eksisterende bygninger i forbindelse med renovering udnytter muligheden for at foretage fremtidsorienterede energiforbedringer. Derfor bør dispensation kun gives ud fra en detaljeret undersøgelse af den energimæssige standard.

Energiramme mulighed ved større energirenoveringer

Ved større renoveringer af større bygninger og i forbindelse med totalrenovering af enfamiliehuse anbefales det at der generelt skal være mulighed for at opfylde energikravene ved at benytte en energiramme eller varmetabsramme beregning. Dette vil stimulere til økonomisk optimale løsninger og vil synliggøre bygningens energimæssige ydeevne efter renoveringen.

Kontrol af udførte energirenoveringer

Der bør overvejes en kontrolordning til verificering af de udførte energirenoveringer, f.eks. udført af energikonsulenter tilknyttet energimærkningsordningen, eller måske mere fornuftigt og mindre ressourcekrævende for myndighederne i form af egenkontrol.

Løbende energimærkning af enfamiliehuse

Det bør ligeledes overvejes at kræve løbende energimærkning af enfamiliehuse (ligesom det er tilfældet med større bygninger), der er opført med byggetilladelse efter BR 1972 eller tidligere. Derved vil man kunne synliggøre de mange rentable energisparetiltag i huse opført før BR 1977 trådte i kraft, hvori der blev indførte betydelige skærpselser af isoleringskravene. Diverse data viser at det netop er i husene fra før 1979, at potentialet for energibesparelser er

klart størst. Ved at indføre løbende energimærkning af enfamiliehuse vil de også eventuelt kunne omfattes af 25 % reglen.

Ophævelse af 25 cm - regel om udvendig efterisolering

I henhold til Bygningsreglement 2008 (kap. 1.9, stk. 1) betragtes udvendig facade efterisolering af småhuse udover 25 cm som en udvidelse af arealet og dermed en tilbygning, der kræver byggesagsbehandling og giver skattemæssige ulemper. Denne regel er ikke stimulerende for lavenergirenovering af småhuse, og bør fjernes.

Klimaskærmens lufttæthed

Det bør så vidt muligt sikres ved krav, at eksisterende bygninger i forbindelse med energimæssig opgradering opnår samme lufttæthed som nye bygninger. En mulig løsning var en kombination af offentlig kontrol og egenkontrol på komponentniveau, og evt. krav om trykprøvning ved totalrenoveringer.

Konkrete mål for energispareindsatsen i eksisterende bygninger

EU direktivet om bygningers energimæssige ydeevne er under revision og et nyt direktiv forventes godkendt i 2010 og indført senest i 2012. En væsentlig ændring forventes at blive at Danmark bliver forpligtet til at stille konkrete målsætninger for energibesparelser i den eksisterende bygningsmasse. Det anbefales i den forbindelse, at man opstiller en målsætning om at hele bygningsmassen enten nedrives og erstattes af nyt lavenergi-byggeri eller energirenoveres gennemgribende til lavenerginiveau inden 2050, hvilket svarer til ca. 2,5 % af bygningsmassen hvert år. Denne tidshorisont svarer til den forventede periode for omstilling til et fossilfrit samfund, der fordrer en lavenergi bygningsmasse for effektivt at kunne anvende 100 % vedvarende energi. Det anbefales at der sættes fokus på bygningerne med det største energiforbrug – bygninger fra før 1979 – idet en passende målsætning kunne være at ville energirenovere 5 % af disse bygninger hvert år. En lignende målsætning har den Tyskland regering allerede forpligtet sig til.

Man bør særligt gøre en særlig indsats vedrørende bygninger i den offentlige sektor og f.eks. have som målsætning at alle bygningerne skal være energirenoveret til lavenerginiveau inden 2020.

5 Referencer

- 1 SBI-anvisning 213: Bygningers energibehov – PC program og Beregningsvejledning. Statens Byggeforskningsinstitut. 2008.
- 2 Bygningsreglement 2008. Erhvervs- og Byggestyrelsen. 12. december 2007.
- 3 Energieffektive boliger af elementer af letbeton. Dansk Beton Letbetonelementgruppen - BIH. August 2008.
- 4 V&S prisbog: Renovering & drift, brutto 2008. V&S Prisdata A/S
- 5 Håndbog for energikonsulenter 2008. Energistyrelsen 2008.
- 6 <http://www.bygningskultur.dk/>. 14.07.2008.
- 7 Energirenovering af enfamiliehuse. Kipper, T. B. (2008). DTU.BYG Eksamensprojekt rapport.
- 8 Builddesk Expert 3.2 - Program til U-værdi og energiberegning. BuildDesk A/S 2008.
- 9 Vurdering af potentialet for varmebesparelser i eksisterende boliger. Wittchen, K. B. By og Byg - Statens Byggeforskningsinstitut. By og Byg dokumentation 057. 2004.
- 10 Varmeplan Danmark. Projekt nr. 2008 – 01. Udført af Rambøll Danmark A/S i samarbejde med Aalborg Universitet. Dansk Fjernvarme. 2008.
- 11 Analyse af energikrav til vinduer i energimærkningsordning og BR 2010, 2015 og 2020. DTU BYG. Rapport SR 08-06 (DK). 2008.
- 12 SBI-anvisning 221: Efterisolering af etageboliger, Statens Byggeforskningsinstitut. 1. Udgave, 2008

Bilag 1: Prisberegninger

Grundlaget for kalkulation af priser på renoveringstiltag og ekstraudgifter for energitiltag er baseret på priser fra V&S priser A/S [4]. Virksomheden er en af de førende udgivere af prisbøger vedrørende tekniske og økonomiske informationer til kalkulation og overslagsberegninger af anlægs-, bygge- og renoveringsopgaver. Deres prisbøger er alment anvendte i byggebranchen.

Der redegøres for de enkelte delpriser, der er benyttet til prisberegninger i rapporten. For hver renoveringsydelse, anføres en kort beskrivelse, id. nr., pris (kr/m²), levetid (år) og årlige vedligeholdelsesudgifter (pct. pr. år af anlægsudgift), hvor det er relevant. I slutningen af bilaget er der vist et eksempel på beregning af priser for efterisolering af en gitterspærkonstruktion.

Ydervægge

Ydelse	Id nr.	Pris [kr/m ²]	Levetid [år]	Vedligeholdelse [Pct./år]
Gammel fugemørtel at udfræse	(41)30.25,01	432	-	-
Fugning af murværk	(41)31.20,01	328	60-120	0,5-1
Puds på indervægge at levere og udføre	(42)11.05	283- 364 ¹⁶	40-80	0,5-1
Vægge af træ med brædebeklædning at nedrive partielt og lægge i depot for genvinding ¹⁷	(22)20.45,01	156	-	-
Udvendig brædebeklædning at levere og opsætte	(41)35.10,04	566	20-40	1-2
Netpuds-renovering på ydervægge at levere og udføre	(41)31.27,01	812	40-80	1-2
Skærmtegl	(41)36.70,01	813	40-80	0-0,05
Afstandslisters til vægbeklædning at levere og udføre	(41)35.05,01	32,80	-	-
Bærende gipsydervægge på stålbyggesystem at levere og montere	(21)34.10	1.360 ¹⁸	-	-
Afstandslisters til vægbeklædning at levere og udføre	(41)35.05,01	32,80	-	-
Efterisolering af ydervægge med mineraluld inkl. puds	(21)36.70,03	2.590 ¹⁹	40-80	1-2
Efterisolering af ydervægge med efterisolings-elementer og isoleringsstolper at levere og opsætte	(21)36.75,02	490 ²⁰	30-50 ²¹	0,5-1 ²²
Hulmursisolering at levere og udføre	(21)36.60,07	281 ²³	-	-

¹⁶ 364 kr. på beton, 283 kr. på porebeton og 291 kr. på murværk.

¹⁷ Da der ikke er angivet nogen pris for at nedtage yderbeklædning af træ er det vurderet at prisen ca. vil være den samme som ved indervægge.

¹⁸ inkl. 180 mm isolering estimeres prisen lineært for de ønskede isoleringstykkelser.

¹⁹ inkl. 200 mm isolering, estimeres prisen lineært for den ønskede isolering.

²⁰ inkl. 50 mm isolering, estimeres prisen lineært for den ønskede isolering.

²¹ Levetiden er estimeret efter (42)15.25 i V&S, da dette svarer til levetiden for gips.

²² Vedligeholdelsesprocenten er estimeret efter (42)15.25 i V&S, da dette svarer til vedligeholdelse af gips.

²³ Da denne pris er inkl. 130 mm isolering, estimeres prisen lineært for den ønskede isolering.

Terrændæk

	Id nr.	Pris [kr/m ²]	Levetid [år]	Vedligeholdelse [Pct./år]
Trægulve at opbryde partielt og lægge i depot for genvinding	(43)10.30,03	85,65 ²⁴	-	-
Isolering i etageadskillelse at udtage og deponere i container for bortskaffelse	(23)16.08	82,50	-	-
Træbjælkelag at nedrive partielt og lægge i depot for genvinding	(23)20.20,01	114	-	-
Strøer at levere og lægge som underlag for gulv	(43)15.15,06	169 ²⁵	-	-
Isolering mellem eller under gulvstrøer at levere og udføre	(43)15.20,02	132 ²⁶	-	-
Gulvbelægning af træ at levere og lægge på bjælkelag eller strøer mv.	(43)15.30,05	681 ²⁷	30-50	0,5-2
Afslibning af trægulve at udføre	(43)17.03,02 (43)17.03,06	192,8 ²⁸	2-6 ²⁹	-
Enkelte fliser og klinker som gulvbelægning at levere og udskifte	(43)12.03,01	219 ³⁰	-	-
Terrændæk af beton at nedrive partielt og lægge i depot for genvinding	(13)10.05,02	255	-	-
Beton at levere og udstøbe i terrændæk	(13)21.20,05	264 ³¹	-	-
Armeringsnet at levere og udlægge i terrændæk	(13)21.17,02	46,65	-	-
Kapillarbrydende lag af komprimeret grus at levere og udlægge	(13)22.09,01	105	-	-
Slidlag på betongulve at ophugge og lægge i depot for genvinding	(43)10.15,01	275	-	-
Fliser og klinker på gulve at aftage partielt og lægge i depot for bortskaffelse	(43)10.20,01	158	-	-
Mineraluld at levere og udlægge til indstøbning i terrændæk	(13)26.10,03	250 ³²	-	-
Fliser og klinker som gulvbelægning at levere og udføre	(43)12.10,03	1.860	30-50 ³³	0-0,5 ³⁴
Jord i byggegrube at udgrave og bortkøre	(10)21.05,02	220 ³⁵	-	-

²⁴ Hvis der er tale om andet end parketgulv er prisen anderledes.

²⁵ Da denne pris er for 75x75 mm strøer, estimeres prisen lineært for den ønskede højde på strøerne.

²⁶ Da prisen er gældende for 100 mm isolering beregnes prisen lineært for den ønskede isoleringstykkelse.

²⁷ Ønskes andet end parketgulv er prisen anderledes.

²⁸ Denne pris er inkl. Lakering. Prisen for lakeringen alene er 45,25 jf. (43)17.05,02.

²⁹ Levetiden er kun gældende for lakeringen jf. (43)17.05.

³⁰ Prisen gælder pr. flise (100x100 mm).

³¹ Denne pris gælder for en tykkelse på 100 mm.

³² Da denne pris gælder for 100 mm mineraluld, estimeres prisen lineært for den ønskede isoleringstykkelse.

³³ Levetiden er estimeret til at være den samme som for marmorfliser som vægbeklædning jf. (42)912.15.

³⁴ Vedligeholdelsesomkostninger er estimeret til at være den samme som for marmorfliser som vægbeklædning jf. (42)912.15.

³⁵ Prisen gælder for pr. m³.

Loft- og tagkonstruktioner

	Id nr.	Pris [kr/m ²]	Levetid [år]	Vedligeholdelse [Pct./år]
Tagbeklædning af teglsten at nedtage partielt og lægge i depot for bortskaffelse	(47)10.05,01	68,85	-	-
Tagbeklædning af bølgetagplader at nedtage partielt og lægge i depot for bortskaffelse	(47)10.10,01	54,80	-	-
Tagbeklædning af træ med tagpap, at nedtage partielt og lægge i depot for bortskaffelse	(47)10.40,01	66,40	-	-
Puds/trælofter at nedrive og lægge i depot for bortskaffelse	(45)10.05,01	45,35	-	-
Fjernelse af isolering fra loft/tag	(27)16.10,01	0,57 ³⁶	-	-
Tagbeklædning af teglsten at levere og oplægge	(47)12.05,02	438,00	40-80	2-4
Tagbeklædning af eternit at levere og oplægge	(47)13.05,01	249,00	30-60	2-4
Tagpapdækning at levere og oplægge på krydsfiner/OSB plader	(47)16.22,01	285,00	30-40	2-4
Gipsplader at levere og opsætte på lofter	(45)15.25,01	213,00	30-50	0,5-1
Isolering med mineraluld at levere og udføre i trækonstruktioner	(27)16.90	1,10 ³⁷	-	-
Tagværk af træ at levere, tildanne og oplægge (Bjælkespær)	(27)15.22	361-616 ³⁸	50-100	0,5-1
Sternbrædder eller vindskeder af træ at nedrive partielt og lægge i depot for genvinding	(37)60.10,01	15,55 ³⁹	-	-
Brædder at levere og opsætte som stjern eller vindskeder	(37)65.15	66,60 ⁴⁰	20-40	0,5-3
Efterisolering af lofter ved indblæsning af mineraluldsgranulat at levere og udføre	(27)16.97,01	189 ⁴¹	-	-
Spærfag af træ at nedrive partielt og lægge i depot for genvinding(gitterspær)	(27)10.07,01	77,85	-	-
Fabriksfremstillede gitterspærfag at levere og opstille	(27)15.25,01	226,00	50-100	0,5-1
Undertag at levere og oplægge	(47)12.50,01	94,95	-	-
Taglægter at nedtage partielt og lægge i	(47)10.30,01	19,20 ⁴²	-	-

³⁶ Prisen er angivet i kr. pr. mm. og er beregnet ud fra at det koster 57,10 kr at udtage 100 mm isolering jf. (27)16.10,01

³⁷ Prisen er angivet i kr. pr. mm. og er beregnet ud fra at 100 mm isolering koster 110 kr jf. (27)16.90,04

³⁸ 361 kr. (50x100mm), 422 kr. (50x125mm), 485 kr. (50x150mm) og 616 kr. (50x200mm).

³⁹ Da prisen i V&S (1) er angivet pr. lbm er det antaget at prisen er den samme pr. m².

⁴⁰ Prisen er angivet som 66,60 kr. pr. 100 mm.

⁴¹ Prisen gælder for en isoleringstykkelse på 100 mm.

depot for bortskaffelse				
Taglægter at levere og opsætte på underlag af træ	(47)15.05,01	45,65	40-80	0,5-1
Tømmer i tagværk at levere, tildanne og oplægge	(27)15.15,01	338,00 ⁴³	50-100	0,5-1
Spærfag af træ at nedrive partielt og lægge i depot for genvinding (hanebåndsspær)	(27)10.07,02	93,40	-	-
Fabriksfremstillede hanebåndsspærfag at levere og opstille	(27)15.29,02	444,00	50-100	0,5-1
Indvendig pladebeklædning på vægge at levere og opsætte	(42)15.20,04	141,00	30-50	0,5-1

Etagedæk mod kælder og krybekælder

	Id nr.	Pris [kr/m ²]	Levetid [år]	Vedligeholdelse [Pct./år]
Indskudsler i etageadskillelser der indeholder asbest, at udtage, forsegle og deponere i container	(23)20.06,01	146,00	-	-
Plade- og bræddebeklædninger på lofter at nedtage partielt og lægge i depot for genvinding	(45)10.10	25,95/ 77,85 ⁴⁴	-	-
Tømmer i bjælkelag at levere, tildanne og oplægge	(23)25.41,01	511,00 ⁴⁵	50-100 år	0,5-1
Isolering med mineraluld at levere og udlægge i etageadskillelse af træ	(23)26.90,04	1,15 ⁴⁶	-	-
Isolering med mineraluld at levere og udlægge i etageadskillelse af træ (Fastholdelse af isolering)	(23)26.90,20	24,90	-	-
Isolering i etageadskillelse at udtage og deponere i container for bortskaffelse	(23)16.08,02	0,83 ⁴⁷		

⁴² Der er angivet en pris på 9,6 kr. pr. lbm. Herudfra er det antaget at der pr. m² er placeret 2 lægter hvilket giver den angivet pris.

⁴³ Der er angivet pris til 169 kr. pr. lbm for dimensionen 50x100 mm. På baggrund af dette er det forudsat at der bruges to meter træ pr. m². Endvidere estimeres prisen lineært for den ønskede størrelse.

⁴⁴ 25,95 kr. for forskalling og 77,85 kr. for brædder.

⁴⁵ Prisen gælder for 200 mm høje bjælker, så prisen estimeres lineært for den ønskede bjælke dimension

⁴⁶ Prisen er angivet i kr. pr. mm. og er beregnet ud fra at 100 mm isolering koster 115 kr.

⁴⁷ Prisen er angivet i kr. pr. mm. og er beregnet ud fra at det koster 82,50 kr. at fjerne 100 mm isolering

Kælderydervæg og fundament

	Id nr.	Pris [kr/m ²]	Levetid [år]	Vedligeholdelse [Pct./år]
Jord i render langs fundamenter at udgrave og bortkøre	(10)21.25,02	463,00 ⁴⁸	-	-
Mineraluld at levere og indstøbe	(12)16.,05	3,15 ⁴⁹	-	-
Grus at levere, tilfylde og komprimere omkring bygværk	(10)22.05,01	305 ⁵⁰	-	-
Pvc-omfangsdræn uden bevikling at levere og udlægge med filterlag	(52)22.16,03	115 ⁵¹		

Vinduer

	Id nr. jf. (1)	Pris [kr/m ²]	Levetid [år]	Vedligeholdelse [Pct./år]
Vinduer at udtage og lægge i depot for genvinding	(31)10.15	108,68 ⁵²	-	-
Fabriksfremstillede vinduer af isolerede aluminiumprofiler at levere og isætte (fast karm)	(31)43.05	2333,61 ⁵³	30-50	1-2
Fabriksfremstillede vinduer af isolerede aluminiumprofiler at levere og isætte (Sidebundhængt vindue)	(31)43.05	4411,38 ⁵⁴	30-50	1-2
Fabriksfremstillede og overfladebehandlede sprossevinduer af træ at levere og isætte (bondehusvinduer)	(31)45.13	4299,77 ⁵⁵	30-50	2-4
Fabriksfremstillede og overfladebehandlede dannebrogsvinduer af træ at levere og isætte	(31)45.07	4150,13 ⁵⁶	30-50	2-4
Forsatsvinduer, sidehængslet at levere og montere	(31)47.03	2962,38 ⁵⁷	30-50	2-4

For nye vinduer med 2-lags energirude, antages det at ramme-karm konstruktionen koster 50 % af totalprisen og at rude-delen derfor udgør 50 %. Et vindue med 3-lags energirude med argon antages derfor at koste 25 % mere end et vindue med 2-lags rude (pga. det ekstra lag glas).

⁴⁸ Det antages at prisen pr. m³ jord er den samme som hvis man beregner pr. m² kældervæg.

⁴⁹ Prisen er angivet i kr. pr. mm. og er beregnet ud fra at 50 mm isolering koster 159 kr.

⁵⁰ Det antages at prisen pr. m³ grus er den samme som hvis man beregner pr. m² kældervæg.

⁵¹ Det antages at prisen pr. m dræn er den samme som hvis den beregnes pr. m² kældervæg.

⁵² Prisen er beregnet som et gennemsnit pr. m² ud fra de to priser der er angivet i V&S med tilhørende vinduesstørrelser.

⁵³ Prisen er beregnet som et gennemsnit af priser for vinduer med fast karm inkl. To-lags glas

⁵⁴ Prisen er beregnet som et gennemsnit af priser for vinduer der er sidebundhængt inkl. To-lags glas

⁵⁵ Prisen er taget som et gennemsnit af priser angivet for et 2-fags sprosse vindue med hhv. 1, 2, 3 og 4 ruder pr. ramme.

⁵⁶ Prisen er beregnet som et gennemsnit af priser angivet for et 2-fags dannebrogsvindue.

⁵⁷ Prisen er taget som et gennemsnit af priser angivet for energiglas.

Det antages at en U-værdi forbedring fra 1,2 til 1,0 på hele vinduet med 3-lags energirude kan opnås med en bedre isolerende ramme-karm konstruktion. Løsningen antages at være 37,5 % dyrere end udgangspunktet. Med en yderligere forbedring i form af 3-lags energiruder med krypton fyldning og U-værdi på 0,8, antages en merpris på 50 % i forhold til et nyt vindue med 2-lags energirude og U-værdi på 1,5.

Beregningseksempel: Renovering og efterisolering af gitterspær

Der ønskes en beregning af investeringen i renovering og efterisolering af en gitterspærkonstruktion til et isoleringsniveau svarende til 240 mm ($U = 0,15$) ved de tre niveauer af renoveringsbehov: Ingen, moderat (behov for ny tagbeklædning), stort (behov for ny tagkonstruktion). Gitterspærkonstruktionen er som udgangspunkt isoleret med 100 mm. Priskalkulationen er der redegjort for i skemaet nedenfor. Der antages en beregningsteknisk levetid på 60 år.

Beskrivelse	Pris [kr/m ²]	Bemærkninger
Ny tagbelægning inkl. isolering		
Fjernelse af tagbelægning	55	
Fjernelse af taglægter	19	
Fjernelse af 100 mm isolering	57	0,57 kr./mm
Ny tagbeklædning	332	korrigeret for levetid på kun 45 år (30-60 år)
Nye taglægter	46	
Ny isolering 240 mm	264	1,1 kr./mm
Undertag	95	
I alt	868	Ny tagbeklædning inkl. 240 mm isolering
Tillæg for ny spærkonstruktion		
Fjernelse af spær	78	
Fjernelse af lofter	45	
Nye spær	181	korrigeret for en levetid på 75 år (50-100 år)
Nye lofter	320	korrigeret for en levetid på kun 40 år (30-50 år)
I alt	624	
I alt: 868 + 624 =	1491	Nyt tag inkl. 240 mm isolering
Fradrag for ny tagbeklædning	547	
Ekstra fradrag for ny tagkonstruktion	791	
Investering ved ingen behov for renov.	1491	
Investering ved moderat behov for renov.	945	Pris for ny 240 mm isol. inkl. nye spær
Investering ved stort behov for renovering	154	Pris for ekstra 140 mm isolering

Bilag 2: Resultater - energibesparelser og økonomi

Dette bilag indeholder beregningsskemaer med specificeringer af bl.a. energibesparelser og investeringer for de forskellige klimaskærmsdele og konstruktionstyper.

		Massiv ydervæg, teglsten, 2 sten	Udv. efterisolering vent.	150 mm isolering	225 mm isolering	300 mm isolering	455 mm isolering	Udv. efterisolering uvent.	175 mm isolering	230 mm isolering	275 mm isolering	380 mm isolering	Indvendig efterisolering	175 mm isolering	250 mm isolering	325 mm isolering	450 mm isolering
U-værdi	[W/m ² K]	1,20		0,20	0,15	0,12	0,09		0,18	0,14	0,12	0,09		0,20	0,15	0,12	0,09
Anlægspris	[kr/m ²]			1.946	2.513	3.080	4.251		2.266	2.979	3.561	4.921		1.715	2.450	3.185	4.410
VO _{årlig}	[kr/m ² /år]			0	0	0	0		14	14	14	14		4	4	4	4
n _t	[år]			60	60	60	60		60	60	60	60		40	40	40	40
ΔE _{årlig}	[kWh/m ²]			90,0	94,5	97,2	99,9		91,8	95,4	97,2	99,9		90,0	94,5	97,2	99,9
B	[kr/m ²]			67,5	70,9	72,9	74,9		68,9	71,6	72,9	74,9		67,5	70,9	72,9	74,9
I _{tiltag , ingen renov. behov}	[kr/m ²]			1.946	2.513	3.080	4.251		2.266	2.979	3.561	4.921		1.715	2.450	3.185	4.410
CSE	[kr/kWh]			0,4	0,5	0,6	0,8		0,6	0,7	0,9	1,1		0,6	0,8	1,0	1,3
RF	[-]			2,1	1,7	1,4	1,1		1,8	1,4	1,2	0,9		1,6	1,2	0,9	0,7
I _{tiltag , moderat renov. behov}	[kr/m ²]			1.186	1.753	2.320	3.491		1.506	2.219	2.801	4.161		1.521	2.256	2.991	4.216
CSE	[kr/kWh]			0,3	0,4	0,5	0,7		0,5	0,6	0,7	0,9		0,5	0,7	0,9	1,3
RF	[-]			3,4	2,4	1,9	1,3		2,7	1,9	1,6	1,1		1,8	1,3	1,0	0,7
I _{tiltag , stort renov. Behov}	[kr/m ²]			367	926	1.489	2.657		971	1.684	2.266	3.626					
CSE	[kr/kWh]			0,1	0,2	0,3	0,5		0,4	0,5	0,6	0,8					
RF	[-]			11,0	4,6	2,9	1,7		4,3	2,6	1,9	1,2					

Massiv ydervæg, teglsten, 1 sten	Udv. efterisolering vent.	175 mm isolering	250 mm isolering	300 mm isolering	455 mm isolering	Udv. efterisolering uvent.	180 mm isolering	230 mm isolering	300 mm isolering	400 mm isolering	Indvendig efterisolering	200 mm isolering	275 mm isolering	350 mm isolering	475 mm isolering
2,00		0,20	0,15	0,12	0,09		0,19	0,15	0,12	0,09		0,20	0,15	0,12	0,09
		2.135	2.702	3.080	4.251		2.331	2.979	3.885	5.180		1.960	2.695	3.430	4.655
		0	0	0	0		14	14	14	14		4	4	4	4
		60	60	60	60		60	60	60	60		40	40	40	40
		162,0	166,5	169,2	171,9		162,9	166,5	169,2	171,9		162,0	166,5	169,2	171,9
		121,5	124,9	126,9	128,9		122,2	124,9	126,9	128,9		121,5	124,9	126,9	128,9
		2.135	2.702	3.080	4.251		2.331	2.979	3.885	5.180		1.960	2.695	3.430	4.655
		0,3	0,3	0,4	0,5		0,4	0,4	0,5	0,7		0,4	0,5	0,6	0,8
		3,4	2,8	2,5	1,8		3,1	2,5	2,0	1,5		2,5	1,9	1,5	1,1
		1.375	1.942	2.320	3.491		1.571	2.219	3.125	4.420		1.766	2.501	3.236	4.461
		0,2	0,2	0,3	0,4		0,3	0,3	0,4	0,6		0,3	0,5	0,6	0,8
		5,3	3,9	3,3	2,2		4,7	3,4	2,4	1,8		2,8	2,0	1,6	1,2
		553	1.114	1.489	2.657		1.036	1.684	2.590	3.885					
		0,1	0,1	0,2	0,3		0,2	0,3	0,4	0,5					
		13,2	6,7	5,1	2,9		7,1	4,5	2,9	2,0					

Massive ydervægge, gasbeton	Udv. efterisolering vent.	150 mm isolering	225 mm isolering	300 mm isolering	455 mm isolering	Udv. efterisolering uvent.	150 mm isolering	230 mm isolering	275 mm isolering	380 mm isolering	Indvendig efterisolering	175 mm islering	250 mm isolering	325 mm isolering	450 mm isolering
0,80		0,20	0,15	0,12	0,09		0,20	0,14	0,12	0,09		0,20	0,15	0,12	0,09
		1.946	2.513	3.080	4.251		1.943	2.979	3.561	4.921		1.715	2.450	3.185	4.410
		0	0	0	0		14	14	14	14		4	4	4	4
		60	60	60	60		60	60	60	60		40	40	40	40
		54,0	58,5	61,2	63,9		54,0	59,4	61,2	63,9		54,0	58,5	61,2	63,9
		40,5	43,9	45,9	47,9		40,5	44,6	45,9	47,9		40,5	43,9	45,9	47,9
		1.946	2.513	3.080	4.251		1.943	2.979	3.561	4.921		1.715	2.450	3.185	4.410
		0,7	0,8	1,0	1,3		1,0	1,2	1,4	1,7		1,0	1,3	1,6	2,1
		1,2	1,0	0,9	0,7		1,3	0,9	0,8	0,6		0,9	0,7	0,6	0,4
		1.186	1.753	2.320	3.491		1.183	2.219	2.801	4.161		1.526	2.261	2.996	4.221
		0,4	0,6	0,7	1,1		0,7	1,0	1,1	1,5		0,9	1,2	1,5	2,0
		2,0	1,5	1,2	0,8		2,1	1,2	1,0	0,7		1,1	0,8	0,6	0,5
		367	926	1.489	2.657		648	1.684	2.266	3.626					
		0,1	0,3	0,5	0,8		0,5	0,8	0,9	1,3					
		6,6	2,8	1,8	1,1		3,8	1,6	1,2	0,8					

Massiv ydervæg, mangelhulsten	Udv. efterisolering vent.	150 mm isolering	225 mm isolering	300 mm isolering	455 mm isolering	Udv. efterisolering uvent.	175 mm isolering	225 mm isolering	275 mm isolering	380 mm isolering	Indvendig efterisolering	175 mm isolering	250 mm isolering	325 mm isolering	450 mm isolering
1,10		0,20	0,15	0,12	0,09		0,18	0,15	0,12	0,09		0,20	0,15	0,12	0,09
		1.946	2.513	3.080	4.251		2.266	2.914	3.561	4.921		1.715	2.450	3.185	4.410
		0	0	0	0		14	14	14	14		4	4	4	4
		60	60	60	60		60	60	60	60		40	40	40	40
		81,0	85,5	88,2	90,9		82,8	85,5	88,2	90,9		81,0	85,5	88,2	90,9
		60,8	64,1	66,2	68,2		62,1	64,1	66,2	68,2		60,8	64,1	66,2	68,2
		1.946	2.513	3.080	4.251		2.266	2.914	3.561	4.921		1.715	2.450	3.185	4.410
		0,5	0,6	0,7	0,9		0,7	0,8	0,9	1,2		0,7	0,9	1,1	1,5
		1,9	1,5	1,3	1,0		1,6	1,3	1,1	0,8		1,4	1,0	0,8	0,6
		1.186	1.753	2.320	3.491		1.506	2.154	2.801	4.161		1.521	2.256	2.991	4.216
		0,3	0,4	0,5	0,7		0,5	0,6	0,8	1,0		0,6	0,8	1,0	1,4
		3,1	2,2	1,7	1,2		2,5	1,8	1,4	1,0		1,6	1,1	0,9	0,6
		367	926	1.489	2.657		971	1.619	2.266	3.626					
		0,1	0,2	0,3	0,6		0,4	0,5	0,7	0,9					
		9,9	4,2	2,7	1,5		3,8	2,4	1,8	1,1					

35 cm Hulmur, uden isolering	Udv. efterisolering vent.	150 mm isolering	225 mm isolering	300 mm isolering	455 mm isolering	Udv. efterisolering uvent.	175 mm isolering	225 mm isolering	275 mm isolering	280 mm isolering	Indvendig efterisolering	175 mm isolering	250 mm isolering	325 mm isolering	450 mm isolering	Hulmursisolering	125 mm isolering til U = 0,50
1,60		0,20	0,15	0,12	0,09		0,18	0,15	0,12	0,09		0,20	0,15	0,12	0,09		0,50
		1.946	2.513	3.080	4.251		2.266	2.914	3.561	3.626		1.715	2.450	3.185	4.410		270
		0	0	0	0		14	14	14	14		4	4	4	4		
		60	60	60	60		60	60	60	60		40	40	40	40		60
		126,0	130,5	133,2	135,9		127,8	130,5	133,2	135,9		126,0	130,5	133,2	135,9		99,0
		94,5	97,9	99,9	101,9		95,9	97,9	99,9	101,9		94,5	97,9	99,9	101,9		74,3
		1.946	2.513	3.080	4.251		2.266	2.914	3.561	3.626		1.715	2.450	3.185	4.410		270
		0,3	0,4	0,4	0,6		0,5	0,5	0,6	0,6		0,4	0,6	0,7	1,0		0,1
		2,9	2,3	1,9	1,4		2,5	2,0	1,7	1,7		2,2	1,6	1,3	0,9		16,5
		1.186	1.753	2.320	3.491		1.506	2.154	2.801	2.866		1.521	2.256	2.991	4.216		
		0,2	0,3	0,3	0,5		0,3	0,4	0,5	0,5		0,4	0,5	0,7	0,9		
		4,8	3,3	2,6	1,8		3,8	2,7	2,1	2,1		2,5	1,7	1,3	1,0		
		367	926	1.489	2.657		971	1.619	2.266	2.672							
		0,1	0,1	0,2	0,4		0,3	0,3	0,4	0,5							
		15,5	6,3	4,0	2,3		5,9	3,6	2,6	2,3							

Udv. efterisolering vent. + hulmursisolering	125 mm iso. Udv. + 125 mm hulmursiso.	175 mm iso. Udv. + 125 mm hulmursiso.	250 mm iso. Udv. + 125 mm hulmursiso.	350 mm iso. Udv. + 125 mm hulmursiso.	Udv. efterisolering uvent. + hulmursisolering	125 mm iso. Udv. + 125 mm hulmursiso.	175 mm iso. Udv. + 125 mm hulmursiso.	250 mm iso. Udv. + 125 mm hulmursiso.	350 mm iso. Udv. + 125 mm hulmursiso.	Indvendig efterisolering + hulmursisolering	125 mm iso. indv. + 125 mm hulmursiso.	200 mm iso. indv. + 125 mm hulmursiso.	275 mm iso. indv. + 125 mm hulmursiso.	400 mm iso. indv. + 125 mm hulmursiso.
	0,19	0,15	0,12	0,09		0,20	0,15	0,12	0,09		0,20	0,15	0,12	0,09
	2.028	2.405	2.972	3.728		1.889	2.536	3.508	4.803		2.108	3.210	4.313	6.150
	0	0	0	0		14	14	14	14		4	4	4	4
	60	60	60	60		60	60	60	60		60	60	60	60
	126,9	130,5	133,2	135,9		126,0	130,5	133,2	135,9		126,0	130,5	133,2	135,9
	95,2	97,9	99,9	101,9		94,5	97,9	99,9	101,9		94,5	97,9	99,9	101,9
	2.028	2.405	2.972	3.728		1.889	2.536	3.508	4.803		2.108	3.210	4.313	6.150
	0,3	0,4	0,4	0,5		0,4	0,5	0,6	0,8		0,4	0,5	0,7	0,9
	2,8	2,4	2,0	1,6		3,0	2,3	1,7	1,3		2,7	1,8	1,4	1,0
	1.268	1.645	2.212	2.968		1.129	1.776	2.748	4.043		1.914	3.016	4.119	5.956
	0,2	0,2	0,3	0,4		0,3	0,4	0,5	0,7		0,3	0,5	0,6	0,9
	4,5	3,6	2,7	2,1		5,0	3,3	2,2	1,5		3,0	1,9	1,5	1,0
	997	1.375	1.942	2.697		859	1.506	2.478	3.773					
	0,2	0,2	0,3	0,4		0,2	0,3	0,5	0,6					
	5,7	4,3	3,1	2,3		6,6	3,9	2,4	1,6					

30 cm Hulmur, hulmursisoleret	Udvendig efterisolering ventileret	150 mm isolering	225 mm isolering	300 mm isolering	455 mm isolering	Udvendig efterisolering uventileret	175 mm isolering	225 mm isolering	275 mm isolering	280 mm isolering	Indvendig efterisolering	175 mm isolering	250 mm isolering	325 mm isolering	450 mm isolering
0,50		0,20	0,15	0,12	0,09		0,18	0,15	0,12	0,09		0,20	0,15	0,12	0,09
		1.946	2.513	3.080	4.251		2.266	2.914	3.561	3.626		1.715	2.450	3.185	4.410
		0	0	0	0		14	14	14	14		4	4	4	4
		60	60	60	60		60	60	60	60		40	40	40	40
		27,0	31,5	34,2	36,9		28,8	31,5	34,2	36,9		27,0	31,5	34,2	36,9
		20,3	23,6	25,7	27,7		21,6	23,6	25,7	27,7		20,3	23,6	25,7	27,7
		1.946	2.513	3.080	4.251		2.266	2.914	3.561	3.626		1.715	2.450	3.185	4.410
		1,4	1,6	1,8	2,2		2,0	2,2	2,4	2,3		2,0	2,4	2,8	3,6
		0,6	0,6	0,5	0,4		0,6	0,5	0,4	0,5		0,5	0,4	0,3	0,3
		1.186	1.753	2.320	3.491		1.506	2.154	2.801	2.866		1.521	2.256	2.991	4.216
		0,9	1,1	1,3	1,8		1,5	1,8	2,0	1,9		1,8	2,2	2,6	3,4
		1,0	0,8	0,7	0,5		0,9	0,7	0,5	0,6		0,5	0,4	0,3	0,3
		367	926	1.489	2.657		971	1.619	2.266	2.672					
		0,3	0,6	0,8	1,4		1,1	1,4	1,7	1,8					
		3,3	1,5	1,0	0,6		1,3	0,9	0,7	0,6					

Bærende bagmur, formur af tegl	Udvendig efterisolering ventileret	100 mm isolering	190 mm isolering	265 mm isolering	380 mm isolering	Udvendig efterisolering uventileret	100 mm isolering	175 mm isolering	250 mm isolering	350 mm isolering	Indvendig efterisolering	125 mm isolering	200 mm isolering	300 mm isolering	400 mm isolering
0,43		0,20	0,15	0,12	0,09		0,20	0,15	0,12	0,09		0,20	0,15	0,12	0,09
		1.569	2.249	2.815	3.684		1.295	2.266	3.238	4.533		1.225	1.960	2.940	3.920
		0	0	0	0		14	14	14	14		4	4	4	4
		60	60	60	60		60	60	60	60		40	40	40	40
		20,7	25,2	27,9	30,6		20,7	25,2	27,9	30,6		20,7	25,2	27,9	30,6
		15,5	18,9	20,9	23,0		15,5	18,9	20,9	23,0		15,5	18,9	20,9	23,0
		1.569	2.249	2.815	3.684		1.295	2.266	3.238	4.533		1.225	1.960	2.940	3.920
		1,5	1,7	2,0	2,3		1,9	2,3	2,7	3,3		1,9	2,4	3,2	3,8
		0,6	0,5	0,4	0,4		0,7	0,5	0,4	0,3		0,5	0,4	0,3	0,2
		809	1.489	2.055	2.924		535	1.506	2.478	3.773		1.036	1.771	2.751	3.731
		0,8	1,2	1,4	1,9		1,2	1,7	2,2	2,8		1,6	2,2	3,0	3,7
		1,2	0,8	0,6	0,5		1,7	0,8	0,5	0,4		0,6	0,4	0,3	0,2
		0	664	1.226	2.091		0	971	1.943	3.238					
		0,0	0,5	0,9	1,3		0,7	1,3	1,8	2,5					
		#####	1,7	1,0	0,7		#####	1,2	0,6	0,4					

Bærende bagmur, yderbeklædning af træ	Udvendig efterisolering ventileret	200 mm isolering	275 mm isolering	350 mm isolering	455 mm isolering	Udvendig efterisolering uventileret	175 mm isolering	230 mm isolering	300 mm isolering	380 mm isolering	Indvendig efterisolering	125 mm isolering	200 mm isolering	300 mm isolering	475 mm isolering
0,46		0,20	0,15	0,12	0,09		0,19	0,15	0,12	0,09		0,20	0,15	0,12	0,09
		2.266	2.833	3.399	4.193		2.422	3.135	4.041	5.077		1.225	1.960	2.940	4.655
		0	0	0	0		0	0	0	0		4	4	4	4
		60	60	60	60		60	60	60	60		40	40	40	40
		23,4	27,9	30,6	33,3		24,3	27,9	30,6	33,3		23,4	27,9	30,6	33,3
		17,6	20,9	23,0	25,0		18,2	20,9	23,0	25,0		17,6	20,9	23,0	25,0
		2.266	2.833	3.399	4.193		2.422	3.135	4.041	5.077		1.225	1.960	2.940	4.655
		1,9	2,0	2,2	2,4		1,9	2,2	2,6	3,0		1,7	2,2	2,9	4,2
		0,5	0,4	0,4	0,4		0,5	0,4	0,3	0,3		0,6	0,4	0,3	0,2
		1.544	2.111	2.677	3.471		1.700	2.413	3.319	4.355		1.036	1.771	2.751	4.466
		1,28	1,47	1,70	2,02		1,4	1,7	2,1	2,5		1,4	2,0	2,7	4,0
		0,7	0,6	0,5	0,4		0,6	0,5	0,4	0,3		0,7	0,5	0,3	0,2
		756	1.322	1.889	2.682		971	1.684	2.590	3.626					
		0,63	0,92	1,20	1,56		0,77	1,17	1,64	2,11					
		1,4	0,9	0,7	0,6		1,1	0,7	0,5	0,4					

		Terrændæk med strøgulv	Gulvhøjden øges	150 mm isolering				Gulvet hugges op og der graves ud	110 mm isolering	215 mm isolering	325 mm isolering	450 mm isolering	Terrændæk med klinkegulv	Gulvet hugges op og der graves ud	115 mm isolering	220 mm isolering	325 mm isolering	450 mm isolering
U-værdi	[W/m ² K]	0,33		0,15					0,15	0,12	0,09	0,07	0,32		0,15	0,12	0,09	0,07
Anlægspris	[kr/m ²]			1.499					2.040	2.438	2.856	3.330			3.348	3.634	3.919	4.259
VO _{årlig}	[kr/m ² /år]			0					0	0	0	0			0	0	0	0
n _t	[år]			60					60	60	60	60			60	60	60	60
ΔE _{årlig}	[kWh/m ²]			11,3					11,3	13,2	15,1	16,4			10,7	12,6	14,5	15,8
B	[kr/m ²]			8,5					8,5	9,9	11,3	12,3			8,0	9,5	10,9	11,8
I _{tiltag , ingen renov. behov}	[kr/m ²]			1.499					2.040	2.438	2.856	3.330			3.348	3.634	3.919	4.259
RF	[-]			0,3					0,3	0,2	0,2	0,2			0,1	0,2	0,2	0,2
CSE	[kr/kWh]			2,6					3,5	3,6	3,7	3,9			6,1	5,6	5,2	5,2
I _{tiltag , moderat renov. behov}	[kr/m ²]			628					1.012	1.411	1.828	2.302			1.158	1.444	1.729	2.069
RF	[-]			0,8					0,5	0,4	0,4	0,3			0,4	0,4	0,4	0,3
CSE	[kr/kWh]			1,1					1,7	2,1	2,3	2,7			2,1	2,2	2,3	2,5
I _{tiltag , stort renov. Behov}	[kr/m ²]			357					333	731	1.148	1.622			163	425	688	1.000
RF	[-]			1,4					1,5	0,8	0,6	0,5			3,0	1,3	0,9	0,7
CSE	[kr/kWh]			0,6					0,57	1,07	1,47	1,92			0,3	0,7	0,9	1,2

Terrændæk, strøgulv på jord	Gulvhøjden øges	200 mm isolering				Gulvet hugges op der graves ud	110 mm isolering	215 mm isolering	325 mm isolering	450 mm isolering
1,00		0,15					0,15	0,12	0,09	0,07
		1.678					1.633	2.032	2.449	2.923
		0					0	0	0	0
		60					60	60	60	60
		53,6					53,6	55,4	57,3	58,6
		40,2					40,2	41,6	43,0	43,9
		1.678					1.633	2.032	2.449	2.923
		1,4					1,5	1,2	1,1	0,9
		0,6					0,6	0,7	0,8	1,0
		1.033					988	1.386	1.804	2.278
		2,3					2,4	1,8	1,4	1,2
		0,4					0,4	0,5	0,6	0,8
		447					684	1.083	1.500	1.974
		5,4					3,5	2,3	1,7	1,3
		0,2					0,2	0,4	0,5	0,7

		Fladt tag, bjælkespær 22 mm isol.	Udv. efterisolering uvent.	175 mm isolering	225 mm isolering	300 mm isolering	400 mm isolering	Built-up indblæsning 200 mm	200 mm isolering	Built-up + udv. efterisolering	200 mm isolering built-up + 25 mm udvendig isolering	200 mm isolering built-up + 100 mm udvendig isolering	200 mm isolering built-up + 200 mm udvendig isolering	200 mm isolering built-up + 300 mm udvendig isolering	Øgning af spærhøjde - udskiftning af spær	225 mm isolering	300 mm isolering	400 mm isoelring	500 mm isolering
U-værdi	[W/m ² K]	0,86		0,14	0,12	0,09	0,07		0,19		0,15	0,12	0,09	0,07		0,15	0,12	0,09	0,07
Anlægspris	[kr/m ²]			2.228	2.367	2.574	2.851		378		2.192	2.399	2.676	2.952		2.720	2.929	3.301	3.772
VO _{årlig}	[kr/m ² /år]			0	0	0	0		0		0	0	0	0		0	0	0	0
n _t	[år]			75	75	75	75		75		75	75	75	75		75	75	75	75
ΔE _{årlig}	[kWh/m ²]			64,8	66,6	69,3	71,1		60,3		63,9	66,6	69,3	71,1		63,9	66,6	69,3	71,1
B	[kr/m ²]			48,6	50,0	52,0	53,3		45,2		47,9	50,0	52,0	53,3		47,9	50,0	52,0	53,3
I _{tiltag , ingen renov. behov}	[kr/m ²]			2.228	2.367	2.574	2.851		378		2.192	2.399	2.676	2.952		2.720	2.929	3.301	3.772
CSE	[kr/kWh]			0,5	0,6	0,6	0,6		0,1		0,5	0,6	0,6	0,6		0,7	0,7	0,7	0,8
RF	[-]			1,6	1,6	1,5	1,4		9,0		1,6	1,6	1,5	1,4		1,3	1,3	1,2	1,1
I _{tiltag , moderat renov. behov}	[kr/m ²]			1.877	2.015	2.223	2.499				1.840	2.048	2.324	2.601		2.369	2.577	2.949	3.420
CSE	[kr/kWh]			0,4	0,5	0,5	0,5				0,4	0,5	0,5	0,6		0,6	0,6	0,7	0,7
RF	[-]			1,9	1,9	1,8	1,6				2,0	1,8	1,7	1,5		1,5	1,5	1,3	1,2
I _{tiltag , stort renov. Behov}	[kr/m ²]															248	511	925	1.166
CSE	[kr/kWh]															0,1	0,1	0,2	0,3
RF	[-]															14,5	7,3	4,2	3,4

Fladt tag, bjælkespær 100 mm isolering	Udv. efterisolering uvent.	125 mm isolering	175 mm isolering	275 mm isolering	400 mm isolering	Built-up indblæsning 125 mm	125 mm isolering	Built-up + udvendig efterisolering	25 mm udvendig isolering	100 mm udvendig isoelring	200 mm udvendig isoelring	300 mm udvendig isoelring
0,35		0,15	0,12	0,09	0,07		0,19		0,15	0,12	0,09	0,07
		2.090	2.228	2.505	2.851		236		2.050	2.257	2.534	2.810
		0	0	0	0		0		0	0	0	0
		75	75	75	75		75		75	75	75	75
		18,0	20,7	23,4	25,2		14,4		18,0	20,7	23,4	25,2
		13,5	15,5	17,6	18,9		10,8		13,5	15,5	17,6	18,9
		2.090	2.228	2.505	2.851		236		2.050	2.257	2.534	2.810
		1,8	1,7	1,7	1,8		0,3		1,8	1,7	1,7	1,7
		0,5	0,5	0,5	0,5		3,4		0,5	0,5	0,5	0,5
		1.739	1.877	2.154	2.499				1.699	1.906	2.182	2.459
		1,5	1,4	1,4	1,5				1,5	1,4	1,4	1,5
		0,6	0,6	0,6	0,6				0,6	0,6	0,6	0,6

Gitterspær, uudnyttet loftrum, 22 mm isolering	Indvendig efterisolering - udskiftning af tagbeklædning	240 mm isolering	290 mm isolering	375 mm isolering	475 mm isolering	Indvendig efterisolering - udskiftning af spær	240 mm isolering	290 mm isolering	375 mm isolering	475 mm isolering	Gitterspær, uudnyttet loftrum, 100 mm isolering	Indvendig efterisolering - udskiftning af tagbeklædning	240 mm isolering	290 mm isolering	375 mm isolering	475 mm isolering	Indvendig efterisolering - udskiftning af spær	240 mm isolering	290 mm isolering	375 mm isolering	475 mm isolering
0,86		0,15	0,12	0,09	0,07		0,15	0,12	0,09	0,07	0,36		0,15	0,12	0,09	0,07		0,15	0,12	0,09	0,07
		823	878	972	1.082		1.447	1.502	1.595	1.705			868	923	1.016	1.126		1.491	1.546	1.640	1.750
		0	0	0	0		0	0	0	0			0	0	0	0		0	0	0	0
		60	60	60	60		60	60	60	60			60	60	60	60		60	60	60	60
		63,9	66,6	69,3	71,1		63,9	66,6	69,3	71,1			18,9	21,6	24,3	26,1		18,9	21,6	24,3	26,1
		47,9	50,0	52,0	53,3		47,9	50,0	52,0	53,3			14,2	16,2	18,2	19,6		14,2	16,2	18,2	19,6
		823	878	972	1.082		1.447	1.502	1.595	1.705			868	923	1.016	1.126		1.491	1.546	1.640	1.750
		0,2	0,3	0,3	0,3		0,4	0,4	0,4	0,5			0,89	0,83	0,81	0,84		1,5	1,4	1,3	1,3
		3,5	3,4	3,2	3,0		2,0	2,0	2,0	1,9			1,0	1,1	1,1	1,0		0,6	0,6	0,7	0,7
		277	332	425	535		900	955	1.049	1.159			321	376	470	580		945	1.000	1.093	1.203
		0,1	0,1	0,1	0,1		0,3	0,3	0,3	0,3			0,3	0,3	0,4	0,4		1,0	0,9	0,9	0,9
		10,4	9,0	7,3	6,0		3,2	3,1	3,0	2,8			2,6	2,6	2,3	2,0		0,9	1,0	1,0	1,0
							277	332	425	535								154	209	303	413
							0,1	0,1	0,1	0,1								0,16	0,19	0,24	0,31
							10,4	9,0	7,3	6,0								5,5	4,6	3,6	2,8

Hanebåndsspær, udnyttet loftrum, 20 mm isolering, skråvæg	Indvendig efterisolering	250 mm isolering	325 mm isolering	425 mm isoering	550 mm isolering	Isolering mellem spær + indvendig isolering - udskiftning af tagbeklædning	200 mm mellem spær + 45 mm isolering indvendigt	200 mm mellem spær + 100 mm isolering indvendigt	200 mm mellem spær + 225 mm isolering indvendigt	200 mm mellem spær + 325 mm isolering indvendigt	Isolering mellem spær + indvendig isolering - udskiftning af spær	200 mm mellem spær + 45 mm isolering indvendigt	200 mm mellem spær + 100 mm isolering indvendigt	200 mm mellem spær + 225 mm isolering indvendigt	200 mm mellem spær + 325 mm isolering indvendigt
1,10		0,15	0,12	0,09	0,07		0,15	0,12	0,09	0,07		0,15	0,12	0,09	0,07
		1.384	1.720	2.168	2.728		1.589	1.835	2.390	2.843		2.384	2.631	3.186	3.639
		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0
		75	75	75	75		75	75	75	75		75	75	75	75
		85,5	88,2	90,9	92,7		85,5	88,2	90,9	92,7		85,5	88,2	90,9	92,7
		64,1	66,2	68,2	69,5		64,1	66,2	68,2	69,5		64,1	66,2	68,2	69,5
		1.384	1.720	2.168	2.728		1.589	1.835	2.390	2.843		2.384	2.631	3.186	3.639
		0,3	0,3	0,4	0,5		0,3	0,3	0,4	0,5		0,4	0,5	0,5	0,6
		3,5	2,9	2,4	1,9		3,0	2,7	2,1	1,8		2,0	1,9	1,6	1,4
		538	874	1.322	1.882		870	1.116	1.671	2.124		1.666	1.912	2.467	2.920
		0,1	0,2	0,2	0,3		0,2	0,2	0,3	0,4		0,3	0,3	0,4	0,5
		8,9	5,7	3,9	2,8		5,5	4,4	3,1	2,5		2,9	2,6	2,1	1,8
												1.128	1.375	1.930	2.383
												0,2	0,2	0,3	0,4
												4,3	3,6	2,6	2,2

Hanebåndsspær, udnyttet loftrum, 100 mm isolering, skråvæg	Indvendig efterisolering	175 mm isolering	250 mm isolering	350 mm isolering	475 mm isolering	tagbeklædning	200 mm mellem spær + 45 mm isolering indvendigt	200 mm mellem spær + 100 mm isolering indvendigt	200 mm mellem spær + 225 mm isolering indvendigt	200 mm mellem spær + 325 mm isolering indvendigt	isolering - udskiftning af spær	200 mm mellem spær + 45 mm isolering indvendigt	200 mm mellem spær + 100 mm isolering indvendigt	200 mm mellem spær + 225 mm isolering indvendigt	200 mm mellem spær + 325 mm isolering indvendigt
0,39		0,15	0,12	0,09	0,07		0,15	0,12	0,09	0,07		0,15	0,12	0,09	0,07
		1.048	1.384	1.832	2.392		1.646	1.892	2.447	2.900		2.441	2.688	3.243	3.696
		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0
		75	75	75	75		75	75	75	75		75	75	75	75
		21,6	24,3	27,0	28,8		21,6	24,3	27,0	28,8		21,6	24,3	27,0	28,8
		16,2	18,2	20,3	21,6		16,2	18,2	20,3	21,6		16,2	18,2	20,3	21,6
		1.048	1.384	1.832	2.392		1.646	1.892	2.447	2.900		2.441	2.688	3.243	3.696
		0,8	0,9	1,1	1,3		1,2	1,2	1,4	1,6		1,8	1,7	1,9	2,0
		1,2	1,0	0,8	0,7		0,7	0,7	0,6	0,6		0,5	0,5	0,5	0,4
		515	851	1.299	1.859		927	1.173	1.729	2.181		1.723	1.969	2.524	2.977
		0,4	0,5	0,7	1,0		0,7	0,7	1,0	1,2		1,2	1,3	1,4	1,6
		2,4	1,6	1,2	0,9		1,3	1,2	0,9	0,7		0,7	0,7	0,6	0,5
												1.185	1.432	1.987	2.440
												0,9	0,9	1,1	1,3
												1,0	1,0	0,8	0,7

		Etagedæk mod kold kælder, træbjælkelag med indskudsler	Efterisolering mod kælder	50 mm isolering mellem strøer + 35 mm isolering mellem nye lægter	50 mm isolering mellem strøer + 70 mm isolering mellem nye lægter	50 mm isolering mellem strøer + 110 mm isolering mellem nye lægter	50 mm isolering mellem strøer + 175 mm isolering mellem nye lægter	Etagedæk mod kold kælder, bjælkelag med trægulv med 50 mm isolering	Efterisolering mod kælder	75 mm isolering mellem bjælker	75 mm isolering mellem bjælker + 50 mm isolering mellem nye lægter	75 mm isolering mellem bjælker + 100 mm isolering mellem nye lægter	75 mm isolering mellem bjælker + 150 mm isolering mellem nye lægter
U-værdi	[W/m ² K]	1,30		0,39	0,29	0,23	0,17	0,50		0,40	0,30	0,23	0,17
Anlægspris	[kr/m ²]			436	566	714	955			178	364	549	734
VO _{årlig}	[kr/m ² /år]			1	1	2	3			0	1	2	3
n _t	[år]			75	75	75	75			75	75	75	75
ΔE _{årlig}	[kWh/m ²]			57,3	63,6	67,4	71,2			6,3	12,6	17,0	20,8
B	[kr/m ²]			43,0	47,7	50,6	53,4			4,7	9,5	12,8	15,6
I _{tiltag} , ingen renov. behov	[kr/m ²]			436	566	714	955			178	364	549	734
CSE	[kr/kWh]			0,1	0,2	0,2	0,3			0,5	0,5	0,6	0,7
RF	[-]			7,4	6,3	5,3	4,2			2,0	1,9	1,7	1,6
I _{tiltag} , moderat renov. behov	[kr/m ²]			93	222	371	611			50	236	421	606
CSE	[kr/kWh]			0,0	0,1	0,1	0,2			0,2	0,4	0,5	0,6
RF	[-]			34,8	16,1	10,2	6,6			7,1	3,0	2,3	1,9

krybekælder, bjælkelag med trægulv med 100 mm isolering	Efterisolering mod krybekælder	175 mm isolering	250 mm isolering	350 mm isolering	500 mm isolering	Etagedæk mod ventileret krybekælder, trægulv på strøer på betondæk	Efterisolering mod krybekælder	250 mm isolering	325 mm isolering	425 mm isoelring	550 mm isolering
0,40		0,15	0,12	0,09	0,07	1,40		0,15	0,12	0,09	0,07
		673	951	1.322	1.877			951	1.229	1.600	2.063
		3	5	7	10			5	6	8	11
		75	75	75	75			75	75	75	75
		15,8	17,6	19,5	20,8			78,8	80,6	82,5	83,8
		11,8	13,2	14,6	15,6			59,1	60,5	61,9	62,8
		673	951	1.322	1.877			951	1.229	1.600	2.063
		0,9	1,1	1,4	1,9			0,2	0,3	0,4	0,5
		1,3	1,0	0,8	0,6			4,7	3,7	2,9	2,3
		500	778	1.149	1.704			519	797	1.167	1.630
		0,7	1,0	1,3	1,7			0,2	0,2	0,3	0,4
		1,8	1,3	1,0	0,7			8,5	5,7	4,0	2,9

		Kælderydervæg, uisoleret, letklinkerbeton		Udvendig isolering	150 mm isolering	225 mm isolering	275 mm isolering	375 mm isolering	Kælderydervæg, uisol., grovbeton	Udvendig isolering	175 mm isolering	225 mm isolering	300 mm isolering	375 mm isolering	Kælderydervæg mod jord, 50 mm indvendig isolering, letklinkerbeton	Udvendig isolering	100 mm isolering	175 mm isolering	225 mm isolering	325 mm isolering
U-værdi	[W/m ² K]	0,50			0,20	0,14	0,12	0,09	0,90		0,19	0,15	0,12	0,09	0,34		0,20	0,14	0,12	0,09
Anlægspris	[kr/m ²]				1.241	1.477	1.634	1.949			1.319	1.477	1.713	1.949			1.083	1.319	1.477	1.792
VO _{årlig}	[kr/m ² /år]				0	0	0	0			0	0	0	0			0	0	0	0
n _t	[år]				60	60	60	60			60	60	60	60			60	60	60	60
ΔE _{årlig}	[kWh/m ²]				27,0	32,4	34,2	36,9			63,9	67,5	70,2	72,9			12,6	18,0	19,8	22,5
B	[kr/m ²]				20,3	24,3	25,7	27,7			47,9	50,6	52,7	54,7			9,5	13,5	14,9	16,9
I _{tiltag, ingen renov. behov}	[kr/m ²]				1.241	1.477	1.634	1.949			1.319	1.477	1.713	1.949			1.083	1.319	1.477	1.792
CSE	[kr/kWh]				0,9	0,9	0,9	1,0			0,4	0,4	0,5	0,5			1,7	1,4	1,4	1,5
RF	[-]				1,0	1,0	0,9	0,9			2,2	2,1	1,8	1,7			0,5	0,6	0,6	0,6
I _{tiltag, moderat renov. behov}	[kr/m ²]				236	473	630	945			315	473	709	945						
CSE	[kr/kWh]				0,2	0,3	0,4	0,5			0,1	0,1	0,2	0,3						
RF	[-]				5,1	3,1	2,4	1,8			9,1	6,4	4,5	3,5						
I _{tiltag, stort renov. Behov}	[kr/m ²]																			
CSE	[kr/kWh]																			
RF	[-]																			

		Fast karm, 1-lag glas	Vinduet udskiftes	2-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med krypton	Fast karm, 1+1 lag glas	Vinduet udskiftes	2-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med krypton	Fast karm, termorude	Vinduet udskiftes	2-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med krypton
U-værdi	[W/m ² K]	5,10		1,50	1,20	1,00	0,80	2,60		1,50	1,20	1,00	0,80	2,90		1,50	1,20	1,00	0,80
gg-værdi	[-]	0,85		0,63	0,50	0,50	0,50	0,75		0,63	0,50	0,50	0,50	0,75		0,63	0,50	0,50	0,50
Glasandel	[-]	0,80		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80		0,80	0,80	0,80	0,80
Anlægspris	[kr/m ²]			3.101	3.684	3.976	4.268			3.101	3.684	3.976	4.268			3.101	3.684	3.976	4.268
VO _{årlig}	[kr/m ² /år]			0	0	0	0			0	0	0	0			0	0	0	0
n _t	[år]			40	40	40	40			40	40	40	40			40	40	40	40
ΔE _{årlig}	[kWh/m ²]			290,7	297,4	315,5	333,6			80,5	87,2	105,3	123,4			107,6	114,3	132,4	150,5
B	[kr/m ²]			218,0	223,1	236,6	250,2			60,4	65,4	79,0	92,5			80,7	85,7	99,3	112,9
I _{tiltag , ingen renov. behov}	[kr/m ²]			3.101	3.684	3.976	4.268			3.101	3.684	3.976	4.268			3.101	3.684	3.976	4.268
CSE	[kr/kWh]			0,3	0,4	0,4	0,4			1,1	1,2	1,1	1,0			0,8	0,9	0,9	0,8
RF	[-]			2,8	2,4	2,4	2,3			0,8	0,7	0,8	0,9			1,0	0,9	1,0	1,1
I _{tiltag , moderat renov. behov}	[kr/m ²]			1.356	1.940	2.231	2.523			1.356	1.940	2.231	2.523			1.356	1.940	2.231	2.523
CSE	[kr/kWh]			0,1	0,2	0,2	0,2			0,5	0,6	0,6	0,6			0,4	0,5	0,5	0,5
RF	[-]			6,4	4,6	4,2	4,0			1,8	1,3	1,4	1,5			2,4	1,8	1,8	1,8
I _{tiltag , stort renov. Behov}	[kr/m ²]			139	722	1.014	1.305			673	1.256	1.548	1.840			139	722	1.014	1.305
CSE	[kr/kWh]			0,0	0,1	0,1	0,1			0,2	0,4	0,4	0,4			0,0	0,2	0,2	0,3
RF	[-]			63,0	12,4	9,3	7,7			3,6	2,1	2,0	2,0			23,3	4,8	3,9	3,5

Oplukket vindue, 1-lag glas	Vinduet udskiftes	2-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med krypton	Oplukket vindue, 1+1 lag glas	Vinduet udskiftes	2-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med krypton	Oplukket vindue, termorude	Vinduet udskiftes	2-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med krypton
4,70		1,50	1,20	1,00	0,80	2,40		1,50	1,20	1,00	0,80	2,80		1,50	1,20	1,00	0,80
0,85		0,63	0,50	0,50	0,50	0,75		0,63	0,50	0,50	0,50	0,75		0,63	0,50	0,50	0,50
0,70		0,70	0,70	0,70	0,70	0,70		0,70	0,70	0,70	0,70	0,70		0,70	0,70	0,70	0,70
		5.179	6.282	6.833	7.384			5.179	6.282	6.833	7.384			5.179	6.282	6.833	7.384
		0	0	0	0			0	0	0	0			0	0	0	0
		40	40	40	40			40	40	40	40			40	40	40	40
		258,9	268,1	286,2	304,3			64,8	74,1	92,1	110,2			101,0	110,2	128,3	146,4
		194,2	201,1	214,7	228,2			48,6	55,5	69,1	82,7			75,7	82,7	96,2	109,8
		5.179	6.282	6.833	7.384			5.179	6.282	6.833	7.384			5.179	6.282	6.833	7.384
		0,6	0,7	0,7	0,7			2,3	2,5	2,2	1,9			1,5	1,7	1,5	1,5
		1,5	1,3	1,3	1,2			0,4	0,4	0,4	0,4			0,6	0,5	0,6	0,6
		3.434	4.537	5.088	5.640			3.434	4.537	5.088	5.640			3.434	4.537	5.088	5.640
		0,4	0,5	0,5	0,5			1,5	1,8	1,6	1,5			1,0	1,2	1,2	1,1
		2,3	1,8	1,7	1,6			0,6	0,5	0,5	0,6			0,9	0,7	0,8	0,8
		2.216	3.319	3.871	4.422			2.751	3.854	4.405	4.956			2.216	3.319	3.871	4.422
		0,2	0,4	0,4	0,4			1,2	1,5	1,4	1,3			0,6	0,9	0,9	0,9
		3,5	2,4	2,2	2,1			0,7	0,6	0,6	0,7			1,4	1,0	1,0	1,0

Bondehusvindue, 1-lag glas	Vinduet udskiftes	2-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med krypton	Bondehusvindue, 1+1 lag glas	Vinduet udskiftes	2-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med krypton	Bondehusvindue, termorude	Vinduet udskiftes	2-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med krypton
4,30		1,50	1,20	1,00	0,80	2,30		1,50	1,20	1,00	0,80	2,70		1,50	1,20	1,00	0,80
0,85		0,63	0,50	0,50	0,50	0,75		0,63	0,50	0,50	0,50	0,75		0,63	0,50	0,50	0,50
0,60		0,60	0,60	0,60	0,60	0,60		0,60	0,60	0,60	0,60	0,60		0,60	0,60	0,60	0,60
		5.067	6.142	6.679	7.217			5.067	6.142	6.679	7.217			5.067	6.142	6.679	7.217
		0	0	0	0			0	0	0	0			0	0	0	0
		40	40	40	40			40	40	40	40			40	40	40	40
		227,1	238,9	256,9	275,0			58,1	69,9	88,0	106,1			94,3	106,1	124,2	142,2
		170,3	179,2	192,7	206,3			43,6	52,5	66,0	79,6			70,7	79,6	93,1	106,7
		5.067	6.142	6.679	7.217			5.067	6.142	6.679	7.217			5.067	6.142	6.679	7.217
		0,6	0,7	0,8	0,8			2,5	2,6	2,2	2,0			1,6	1,7	1,6	1,5
		1,3	1,2	1,2	1,1			0,3	0,3	0,4	0,4			0,6	0,5	0,6	0,6
		3.322	4.397	4.935	5.472			3.322	4.397	4.935	5.472			3.322	4.397	4.935	5.472
		0,4	0,5	0,6	0,6			1,7	1,8	1,6	1,5			1,0	1,2	1,2	1,1
		2,1	1,6	1,6	1,5			0,5	0,5	0,5	0,6			0,9	0,7	0,8	0,8
		2.105	3.180	3.717	4.255			2.639	3.714	4.251	4.789			2.105	3.180	3.717	4.255
		0,3	0,4	0,4	0,4			1,3	1,5	1,4	1,3			0,6	0,9	0,9	0,9
		3,2	2,3	2,1	1,9			0,7	0,6	0,6	0,7			1,3	1,0	1,0	1,0

Dannebrogsvindue, 1-lag glas	Vinduet udskiftes	2-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med krypton	Dannebrogsvindue, 1+1 lag glas	Vinduet udskiftes	2-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med krypton	Dannebrogsvindue, termorude	Vinduet udskiftes	2-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med argon	3-lags energiruder med krypton
4,10		1,50	1,20	1,00	0,80	2,20		1,50	1,20	1,00	0,80	2,70		1,50	1,20	1,00	0,80
0,85		0,63	0,50	0,50	0,50	0,75		0,63	0,50	0,50	0,50	0,75		0,63	0,50	0,50	0,50
0,55		0,55	0,55	0,55	0,55	0,55		0,55	0,55	0,55	0,55	0,55		0,55	0,55	0,55	0,55
		4.917	5.955	6.474	6.992			4.917	5.955	6.474	6.992			4.917	5.955	6.474	6.992
		0	0	0	0			0	0	0	0			0	0	0	0
		40	40	40	40			40	40	40	40			40	40	40	40
		211,2	224,2	242,3	260,4			50,3	63,4	81,4	99,5			95,5	108,5	126,6	144,7
		158,4	168,2	181,7	195,3			37,7	47,5	61,1	74,6			71,6	81,4	95,0	108,5
		4.917	5.955	6.474	6.992			4.917	5.955	6.474	6.992			4.917	5.955	6.474	6.992
		0,7	0,8	0,8	0,8			2,8	2,7	2,3	2,0			1,5	1,6	1,5	1,4
		1,3	1,1	1,1	1,1			0,3	0,3	0,4	0,4			0,6	0,5	0,6	0,6
		3.173	4.210	4.729	5.248			3.173	4.210	4.729	5.248			3.173	4.210	4.729	5.248
		0,4	0,5	0,6	0,6			1,8	1,9	1,7	1,5			1,0	1,1	1,1	1,1
		2,0	1,6	1,5	1,5			0,5	0,5	0,5	0,6			0,9	0,8	0,8	0,8
		1.955	2.993	3.511	4.030			2.489	3.527	4.046	4.564			1.955	2.993	3.511	4.030
		0,3	0,4	0,4	0,4			1,4	1,6	1,4	1,3			0,6	0,8	0,8	0,8
		3,2	2,2	2,1	1,9			0,6	0,5	0,6	0,7			1,5	1,1	1,1	1,1

DTU Byg har som led i regeringens udarbejdelse af en strategi for reduktion af energiforbruget i bygninger gennemført analyser og vurderinger, der kan danne grundlag for opstilling af nye skærpede energimæssige krav til eksisterende bygningers klimaskærmskonstruktioner i bygningsreglementet. Resultaterne af dette arbejde er at finde i denne rapport.

Rapporten indeholder vurderinger af passende klimaskærmskomponentkrav til tilbygninger og renoveringer, analyser af energibesparelser og økonomi for klimaskærmsrenoveringstiltag og andre udvalgte tiltag samt en vurdering af fleksible energikrav til større renoveringer. På denne baggrund fremsættes der forslag til skærpede energikrav til klimaskærmen i bygningsreglementet.

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg
Danmarks Tekniske Universitet

Brovej
2800 Kgs. Lyngby
Tlf. 45 25 17 00

www.byg.dtu.dk